Die Terminplanung und Terminsteuerung einer Sachgüterproduktion

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doctor rerum politicarum
der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von
MARKUS WYSS
von Littau LU

Zürich 1979
Zentralstelle der Studentenschaft

Die Terminplanung und Terminsteuerung einer Sachgüterproduktion

Die Terminplanung und Terminsteuerung einer Sachgüterproduktion

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doctor rerum politicarum
der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von
MARKUS WYSS
von Littau LU

Zürich 1979
Zentralstelle der Studentenschaft

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die Fakultät hat diese Arbeit am 2. März 1978 auf Antrag von Professor Dr. TLACH als Dissertation angenommen, ohne damit zu den darin ausgesprochenen Auffassungen Stellung nehmen zu wollen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548108_0025

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
VORWORT		
EINLEITUNG		
ALLGEMEINER TEIL		
1	ZIELSETZUNG	3
2	ENTSCHEIDUNGSSITUATION	7
2.1	Merkmale der Aufträge	7
2.1.1	Bedarfszeitpunkt	7
2.1.2	Bedarfsmenge	7
2.1.3	Produktaufbau	8
2.1.4	Fertigungszeiten	9
2.2	Kapazität und Kapazitätsbelastung der Fertigungsmittel	12
2.3	Merkmale der Fertigungsverfahren	15
2.3.1	Einmalige Fertigung - Wiederholfertigung	15
2.3.2	Werkstattfertigung - Reihenfertigung - Baustellenfertigung	17
2.3.3	Bestellfertigung - Programmfertigung	19

		Seite
3	RAHMENENTSCHEID	23
3.1	Definition von Planstellen	25
3.1.1	Einstellenplanung - Mehrstellenplanung	25
3.1.2	Engpassplanung	27
3.2	Aufbau der zeitlichen Grundstruktur	28
3.2.1	Die Aufgliederung des Planungszeitraumes	28
3.2.2	Der Betriebskalender	30
3.2.3	Planrevision	31
3.3	Die Detaillierungsstufen der Planung: Grobterminplanung - Feinterminplanung - Arbeitsverteilung	34
3.4	Methoden der Durchlaufterminierung und Belastungsplanung	38
3.4.1	Vorwärtsterminierung - Rückwärtsterminierung	40
3.4.2	Rechteckapproximation	41
3.4.3	Durchlauf- und Belastungskurven	42
3.4.4	Kapazitätsterminierung	46
3.5	Methoden der Zeiterfassung	49
3.6	Die Instrumente der Planung und Steuerung	54
3.6.1	Balkendiagramme	54
3.6.2	Netzplantechnik	56
3.6.3	Wartezeitmodelle	61
3.6.4	Heuristische Verfahren	65
3.6.5	Simulation	70
3.6.6	Elektronische Datenverarbeitung	73

Seite

4 FEINENTSCHEID 78

4.1 Variablen der Ablaufplanung: Normal-Durchlauf, überlappter Durchlauf, geteilter Durchlauf 80

4.2 Variablen des Belastungsausgleichs: Kapazitätsänderungen, Entlastungen, Terminverschiebungen 86

TERMINPLANUNG UND TERMINSTEUERUNG BEI DER BUSS AG, BASEL

1 ZUR ENTSCHEIDUNGSSITUATION 91

1.1 Merkmäle der Aufträge 91

1.2 Merkmale der Fertigungsmittel 91

1.3 Merkmale der Fertigungsverfahren 92

2 ZU DEN ZIELSETZUNGEN 93

3 ZUM RAHMENENTSCHEID 95

3.1 Die zeitliche Grundstrukturierung 95

3.2 Definition von Planstellen 96

3.3 Der Begriff "Auftragsstaffel" 98

		Seite
3.4	Netzplantechnik	100
3.4.1	Zweistufige Netzwerkerstellung: Grobplanung - Feinplanung	100
3.4.2	Ablaufgrobnetz - Belastungsgrobnetz	102
3.4.3	Feinnetze als Verknüpfungen von Operationsplänen	104
3.5	Integration von Bedarfsermittlung und Materialbewirtschaftung	109
3.6	Die Organisation der Planungsfunktion	111
4	ZUM ABLAUF DES FEINENTSCHEIDS	113
4.1	Aufbau des Ablaufgrobnetzes	114
4.2	Einknüpfen eines Belastungsgrobnetzes	114
4.3	Sukzessive Ablösung eines Grobnetzes durch Feinnetze	114
4.4	Durchlaufterminierung	115
4.5	Auflastung	117
4.6	Fortschrittsverfolgung	117
4.7	Kontrolle und Steuerung	118

Seite

TERMINPLANUNG UND TERMINSTEUERUNG DER HERSTELLUNG VON S U L Z E R - WEBMASCHINEN

1	ZUR ENTSCHEIDUNGSSITUATION	121
1.1	Standardgüter	121
1.2	Programmfertigung mit Bestellfertigungsanteil	125
1.3	Werkstattfertigung von Teilen und Bandmontage	126
2	GROBTERMINPLANUNG	127
2.1	Fabrikationsprogramm	127
2.2	Ablieferplan	128
3	FEINTERMINIERUNG UND TERMINSTEUERUNG	129
3.1	Das Produktionsplanungs- und Steuerungs-System (PPS)	129
3.2	Die Auftragsabwicklung innerhalb des PPS	132

LITERATURVERZEICHNIS

V O R W O R T

Als EDV-Systemanalytiker beschäftige ich mich vor allem mit der Planung und Steuerung von Arbeitsabläufen. Vom blossen Interesse an den Steuerungs-Mechanismen in einem Computer-Betriebssystem über die Realisierung einer Terminplanung und -steuerung in einem Rechenzentrum bis zur Darstellung des Terminwesens bei der Sachgüterproduktion war allerdings ein langer Weg zurückzulegen.

Ich danke den Herren M. Benz, BBC Oerlikon, F. Frey, Hasler AG Bern und Ch. Stumpf, IBM (Schweiz) für ihre Einführung in die Problematik und Terminologie. Mit Hilfe der Herren P. Bieri von der Buss AG Basel und W. Balzli und R. Kretzschmar von Gebr. Sulzer AG Winterthur konnte ich die Bewältigung der Terminproblematik in zwei wie mir scheint typischen Unternehmungssituationen untersuchen. Frau H. Waespe und Fräulein E. Künzle von der IBM (Schweiz) sorgten für die Abschrift des Manuskripts. Einen herzlichen Dank möchte ich Herrn Professor P. Tlach für seine Unterstützung und konstruktive Kritik aussprechen.

Zürich, August 1977 M.W./eku

E I N L E I T U N G

Diese Arbeit stellt die Terminplanung und Terminsteuerung von Produktionsabläufen dar, weil unseres Erachtens die Stellung des Terminwesens in der betriebswirtschaftlichen Literatur nicht seiner Bedeutung in der Praxis entspricht. Entweder wird die Terminproblematik einer Produktionsplanung und -steuerung nur am Rande behandelt, oder der Autor geht von einer ganz bestimmten Unternehmungssituation aus, zum Beispiel Einzelstück- und Kleinserienfertigung in der Maschinenindustrie und stellt dabei ein bestimmtes Planungsinstrument in den Vordergrund, zum Beispiel die Netzplantechnik. In dieser Untersuchung wollen wir unterschiedliche Situationsmerkmale der Unternehmungen einer bestimmten Problematik der Terminplanung und -steuerung zuordnen und die verschiedenen Varianten der Problemlösung gegeneinander abwägen. Eine solche "Ordnung, in der ein bestimmter Prozess als sich vollziehend gedacht wird" (1) soll zukünftige Entscheide über Termine gegen Einflüsse abschirmen, die aus dem Mangel an Information, an Entscheidungshilfen, an Zeit, an Erfahrung usw. entstehen können. Planen ist also vorverlegtes Entscheiden.

---

(1) Gutenberg E., Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Erster Band, Die Produktion, 18. Auflage, Berlin etc., S. 148

Verschiedene Störeinflüsse können Abweichungen des Ist-Zustandes vom geplanten Soll-Zustand herbeiführen. Die Steuerung erfasst durch einen laufenden Soll- Ist-Vergleich solche Abweichungen und leitet die notwendigen Korrekturmassnahmen ein.

Eine Entscheidung setzt eine bestimmte Zielsetzung, eine Entscheidungssituation und verschiedene Lösungsvarianten voraus. Zuerst untersuchen wir deshalb die Zielsetzungen der Terminplanung und -steuerung. Dann wenden wir uns den Merkmalen der Entscheidungssituation zu. Eine zweckmässige Auswahl von Planungseinrichtungen - wir nennen diese Wahl "Rahmenentscheid" - kann die Lösung der Terminproblematik im Einzelfall - den "Feinentscheid" - wesentlich vereinfachen und verbessern. Darum widmen wir der Erörterung des Rahmenentscheids breiten Raum, bevor wir auf den Feinentscheid eingehen. Schliesslich sollen anhand von zwei Beispielen aus der Praxis die theoretischen Aussagen anhand von zwei typischen Entscheidungssituationen ergänzt und überprüft werden.

A L L G E M E I N E R T E I L

ZIELSETZUNG

Das Terminwesen hat zwei Hauptziele:

- Die einzelnen Aufträge sollen die Abteilungen einer Unternehmung schnell und ohne Stockungen durchlaufen. Insbesondere müssen die Liefertermine eingehalten werden.

- Die Fertigungsmittel (Einrichtungen, Maschinen, Arbeitskräfte) sollen gut ausgelastet sein.

Die Problematik des Terminwesens ergibt sich aus dem Widerspruch zwischen diesen zwei Zielen. Gutenberg (1) bezeichnet dies als "Dilemma der Ablaufplanung". "Jede Ablaufplanung stellt den Versuch dar, diese beiden entgegengesetzten Forderungen miteinander in Einklang zu bringen. Je vollkommener diese Aufgabe gelingt, umso grösser ist der produktive Effekt und damit der Erfolg der Planungsbemühungen." Der Konflikt zwischen den Erfordernissen der Auftragsterminierung und der Belastungsplanung macht Terminprobleme zu Optimierungsproblemen.

Für ihre Lösung ist die allgemein formulierte Zielsetzung nicht zweckmässig. Geeignete "Kenngrössen" oder "Messwerte" beziehen sich auf:

---

(1) Gutenberg E., a.a.O., S. 216

- die Durchlaufzeit eines Auftrages

  als "Zeitspanne von der Freigabe eines Fertigungsauftrages für den Betrieb bis zur Beendigung der letzten Operation, inklusive Kontrolle" (1),

- die Terminabweichung eines Auftrages

  als Differenz zwischen dem Zeitpunkt der Fertigstellung und dem geplanten Liefertermin,

- den Verzug eines Auftrages

  als positive Terminabweichung,

- die Pufferzeit eines Auftrages

  als negative Terminabweichung,

- die Liegezeit eines Auftrages,

- die Nutzungszeit eines Fertigungsmittels,

- die Brachzeit eines Fertigungsmittels,

- den Lagerbestand an Fabrikaten in Arbeit.

---

(1) Terminologie, Produktionsplanung und -steuerung, ausgearbeitet vom Betriebswirtschaftlichen Institut der ETH, Zürich 1970, S. 28

Eine einfache und dennoch zweckmässige Zielsetzung ist die Maximierung solcher Messwerte. Wo innerhalb eines bestimmten Zeitraumes viele Aufträge von mehreren Fertigungsmitteln bearbeitet werden, empfiehlt sich die Anwendung von Mittelwerten oder Häufigkeitsverteilungen. Weil ein Fertigungsmittel häufig nicht erst dann voll ausgelastet ist, wenn die Summe der Nutzungszeiten der verfügbaren Betriebszeit entspricht oder die Brachzeit gleich Null ist, ist es sinnvoll, von einem Auslastungsgrad zu sprechen, der als Prozentwert ausgedrückt wird.

Sowohl für die Formulierung von Optimierungszielen als auch für die Ermittlung von Konsequenzen einzelner Alternativen können die Kosten verwendet werden. Dabei entstehen aber schwierige Erfassungsprobleme, weil "weder die Kostenartenrechnung noch die Kostenstellen- oder Kostenträgerrechnung (....) Antworten auf die Probleme der Produktionsplanung (geben). Für die Zwecke der Produktionsplanung sind nicht "accounting costs", sondern "operational costs" anzusetzen. Gefragt wird nach der Kostenverursachung einer bestimmten Massnahme, eines Verhaltens oder Entscheides. Welche zusätzlichen Kosten entstehen bei Ueberzeitarbeit? Welchen Kostenzugang hat eine vermehrte Lagerbildung zur Folge? Wie verhalten sich die anfallenden Kosten bei vorzeitiger oder verspäteter Fertigstellung eines Kundenauftrages? Ist eine längere Durchlaufzeit der Benützung einer Ausweich-Produktionseinheit vorzuziehen?" (1) Die Erfassung von Kosten und Nutzen der Terminplanung und Terminsteuerung wird in dieser Arbeit nicht untersucht.

---

(1) Fehr E., Produktionsplanung und -steuerung mit elektronischer Datenverarbeitung, Diss. Freiburg i.Ue., 1968, S. 74

Unterschiedliche Zielsetzungen führen zu unterschiedlichen Optima. Eine "Zielplanung" ist deshalb Grundlage der Beurteilung von Alternativen. Die Zielpläne bleiben solange gültig, als bei der Unternehmungssituation keine wesentliche Veränderung eintrifft. Andernfalls muss nicht nur der Rahmenentscheid über die Methoden und Instrumente der Planung überprüft werden, sondern auch die Zielplanung.

ENTSCHEIDUNGSSITUATION

In diesem Kapitel betrachten wir Merkmale einer Entscheidungssituation, die bei der Auswahl von Planungseinrichtungen und beim Festsetzen von Terminen Determinanten der Entscheidungsproblematik sind. Eine Situation wechselt ständig, hauptsächlich wegen Verschiebungen im Auftragsbestand und im Bestand der Fertigungsmittel. Wesentliche Variablen einer Entscheidungssituation sind somit die Aufträge und die Fertigungsmittel. Als relativ konstant betrachten wir die Kombination von Aufträgen und Fertigungsmitteln zu einem Produktionsablauf. Wir bezeichnen diese als "Fertigungsverfahren".

1 Merkmale der Aufträge

Als Aufträge bezeichnen wir die von Kunden oder einer Unternehmungsinstanz bestellte Unternehmungsleistung.

1.1 Bedarfszeitpunkt

Diese Leistung muss zu einem bestimmten Zeitpunkt, dem Liefertermin, erbracht werden.

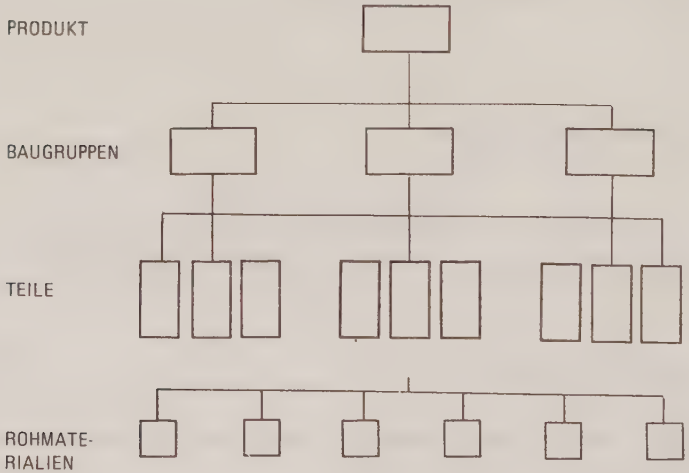
1.2 Bedarfsmenge

Sie besteht aus einer Anzahl von Stücken eines Sachgutes oder aus Wiederholungen einer Dienstleistung.

2.1.3 Produktaufbau

Eine Dienstleistung oder ein Sachgut lässt sich in einzelne Teile oder Elemente zerlegen. Die Terminproblematik beim Erstellen von Sachgütern weicht von jener der Dienstleistungsbetriebe hauptsächlich deshalb ab, weil Dienstleistungen als Ganzes immer erst zum Bedarfszeitpunkt erbracht werden, weshalb keine Fertigung auf Vorrat möglich ist. Für unsere weiteren Ueberlegungen gehen wir von der Sachgüterproduktion aus.

Zwischen den einzelnen Elementen eines Produktes entsteht aufgrund des konstruktiven Aufbaus eine hierarchische Beziehung:



Im Maschinen- und Apparatebau werden meistens Stücklisten zur Darstellung des Produktaufbaus verwendet. Diese zeigen, aus welchen Teilen ein Produkt oder eine Baugruppe zusammengesetzt sind und wieviele Stücke dieser Teile benötigt werden. Dieselbe Funktion erfüllen Rezepte in der chemischen- und der Nahrungsmittel-Industrie.

Der Produktaufbau muss vom Terminwesen als eine gegebene Grösse betrachtet werden. Er bestimmt aber wesentlich die Schwierigkeit der Planungs- und Steuerungsaufgabe. Bei einem komplexen Produktaufbau löst der Auftrag zur Herstellung des Produktes eine ganze Reihe von Teilaufträgen aus. Es sind Beschaffungsaufträge für Rohmaterialien und Fremdteile, Fabrikationsaufträge für Eigenfertigungsteile und Montageaufträge für den Zusammenbau der hergestellten und beschafften Teile. Die gegenseitige Anordnung der einzelnen Teilaufträge zu einem Netzwerk von nebeneinander und nacheinander ablaufenden Tätigkeiten kann zu einer sehr anspruchsvollen Aufgabe werden. Man spricht meistens statt von einem Auftrag von einem "Projekt", wenn zu dessen Abwicklung eine ganze Reihe von Aufträgen nötig ist.

.1.4 Fertigungszeiten

An der Fertigung eines Auftrages sind Mitarbeiter, Betriebsmittel und Werkstoffe beteiligt. Die "Mitarbeiterzeiten" setzen sich aus Tätigkeits- und Warte- bzw. Ruhezeiten zusammen, die "Betriebsmittelzeiten" aus Nutzungs- und Brachzeiten und die "Werkstoffzeiten" aus Veränderungs- und Liegezeiten (1). Welche dieser Zeiten sind "Fertigungszeiten" für das Terminwesen? Die Antwort ergibt sich aus seiner Aufgabenstellung. Für die einzelnen Aufträge soll eine kurze Durchlaufzeit durch den Produktionsbereich bei gleichzeitig guter Auslastung der Fertigungsmittel erzielt werden. Die Wechselbeziehung zwischen zwei gleichwertigen Zielen schliesst eine einseitige Verwendung von "Auftragszeiten" oder von "Fertigungsmittelzeiten" aus. Deshalb brauchen wir in der Termin-

---

(1) REFA-Buch, Band 2, Zeitvorgabe, München 1958, S. 13 ff.

planung den Begriff der "Auftragsdurchlaufzeit" und der "Fertigungsmittelbelegung".

Die Durchlaufzeit setzt sich zusammen aus Operationszeiten und Zwischenzeiten. Während der Operationszeit wird ein Auftrag mit Hilfe von Fertigungsmitteln seiner Fertigstellung näher gebracht (1). Sie setzt sich aus einer Rüstzeit und einer Ausführungszeit zusammen. Die Rüstzeit wird für das Vorbereiten einer Operation bzw. für das Einrichten der dazu benötigten Fertigungsmittel und den Abschluss dieser Operation bzw. das Abrüsten des Fertigungsmittels aufgewendet. Die Ausführungszeit hängt ab von der zur Bearbeitung eines einzelnen Werkstückes benötigten Zeit (Stückzeit) und ist somit direkt proportional zur Stückzahl (Ausführungszeit = Stückzeit x Stückzah). Bei einem kontinuierlichen Fertigungsvorgang folgen die einzelnen Operationen einander lückenlos. Die Durchlaufzeit eines Auftrages entspricht der Summe der einzelnen Operationszeiten. Als Beispiel kann ein Fliessband betrachtet werden, das die Werkstücke gleichzeitig bearbeitet und befördert. Bei einem diskontinuierlichen (intermittierenden) Fertigungsvorgang ergibt sich zwischen dem Ende der vorhergehenden und dem Beginn der nachfolgenden Operation eine Zwischen- oder Uebergangszeit. Diese lässt sich aufteilen in eine Transportzeit und eine Liegezeit. Die Länge der Transportzeit hängt von der räumlichen Anordnung der einzelnen Fertigungsmittel ab. Liegezeiten können aus verschiedenen Gründen entstehen:

---

(1) Siehe Terminologie, a.a.O., S. 28 f.

- Verfahrensbedingte Liegezeiten gibt es zum Beispiel, wenn ein Werkstück abkühlen oder trocknen muss. Sie sind meistens im voraus bekannt.

- Störungsbedingte Liegezeiten treten wegen Defekten an den Fertigungsmitteln auf.

- Ablaufbedingte Liegezeiten entstehen, wenn ein Auftrag auf seine Bearbeitung wartet, weil das benötigte Fertigungsmittel durch einen andern Auftrag belegt ist, oder weil sich die Fertigung eines "Vorlauf-Auftrages" verzögert hat.

Die Ausführungszeiten sind bei hoher Mechanisierung weitgehend durch den Stand der Technologie gegeben. Dagegen kann durch eine optimale Reihenfolge der Auftragsbearbeitung an einem Fertigungsmittel unter Umständen wesentlich Rüstzeit eingespart werden, zum Beispiel, wenn durch die aufeinanderfolgende Verarbeitung von fünf gleichartigen Aufträgen ein Fertigungsmittel statt für jeden Auftrag für alle zusammen einmal eingerichtet wird. Es gibt aber auch Fälle, wo die Fertigungsmittel nicht bei jedem neuen Auftrag einzurichten sind; die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung spielt dann keine Rolle. Wenn die Rüstzeiten in vielen Entscheidungssituationen ignoriert werden können, trifft das für die Liegezeiten kaum zu. Ihr Anteil an der Gesamtdurchlaufzeit der Aufträge kann bis das Tausendfache der Operationszeiten ausmachen. Liegezeiten der Aufträge sind also ein zentrales Problem in einem Terminwesen.

2.2 Kapazität und Kapazitätsbelastung der Fertigungsmittel

Unter Kapazität verstehen wir die Leistungsfähigkeit eines Fertigungsmittels während eines Zeitabschnittes. Gutenberg (1) unterscheidet eine quantitative und eine qualitative Kapazität, d.h. jedes Fertigungsmittel eignet sich zur Bearbeitung einer bestimmten Menge und einer bestimmten Art von Aufträgen. Die Belastung ergibt sich aus der durch die einzelnen Aufträge hervorgerufenen Beanspruchung der Fertigungsmittel.

Wo ein Fertigungsmittel immer die gleiche Art von Aufträgen ausführt, bieten sich für die Messung von Kapazität und Kapazitätsbelastung geeignete Masstäbe von selber an. So kann der Ausstoss einer Flaschenabfüll-Maschine in einer Brauerei in Flaschen je Zeiteinheit ausgedrückt werden. Je nach der Bedarfsmenge belegt ein "Abfüll-Auftrag" diese Maschine während einer bestimmten Anzahl von Zeiteinheiten.

Wenn aber ein Fertigungsmittel Aufträge verschiedener Art bearbeitet, eignen sich Mengenleistung und Bedarfsmengen nicht mehr als Grundlage für die Terminplanung und -steuerung. Es muss ein Ersatzmasstab gesucht werden, der aber immer noch in einem direkten Verhältnis zur Menge der produzierten Erzeugnisse steht. Deshalb werden Kapazität und Kapazitätsbelastung vielfach mit Hilfe von Fertigungszeiten ausgedrückt. Bei kapitalintensiver Fertigung wählt man Betriebsmittelzeiten, z.B. in der Form von Maschinenstunden, bei arbeitsintensiver Fertigung Mitarbeiterzeiten in Form von Lohnstunden, oder beim Fehlen einer Dominanz

---

(1) Gutenberg E., a.a.O., S. 73

der Maschinen- oder Mitarbeiterleistung Arbeitsplatzstunden als Grundlage für die Planung und Steuerung. Die damit verbundenen Probleme der Zeiterfassung und der Anordnung der einzelnen Zeitelemente in einem Durchlauf- und Belastungs-Modell werden wir später behandeln. Die vielseitige Verwendbarkeit der Fertigungsmittel bringt neben dem Problem des Leistungs- und Belastungs-Masstabs das Problem der Zuordnung von Aufträgen, da ja nicht jedes Fertigungsmittel dieselbe Eignung zur Bearbeitung eines bestimmten Auftrages zu haben braucht. Wir werden auf das Zuordnungsproblem im Zusammenhang mit den Instrumenten des Terminwesens zurückkommen.

Kann ein Fertigungsmittel nur einen Auftrag nach dem andern erledigen, wird die Dauer der Kapazitätsinanspruchnahme von der Durchlaufzeit der einzelnen Aufträge bestimmt. Die Belastung kann dann dargestellt werden als Durchlaufzeit z des Auftrages n und Durchlaufzeit z + 1 des Auftrages n + 1 usw. Das Fertigungsmittel ist dann gut ausgelastet, wenn die Brachzeiten zwischen den einzelnen Durchlaufzeiten minimal sind. Wenn ein Fertigungsmittel mehrere Aufträge gleichzeitig bearbeiten kann, oder wenn für die Zwecke der Planung und Steuerung einzelne Fertigungsmittel zu Gruppen zusammengefasst werden, spielt das Ausmass der Kapazitätsinanspruchnahme während eines Zeitabschnittes eine grosse Rolle. In diesem Fall belastet ja jeder einzelne Auftrag die Kapazität der Fertigungsmittel nur zu einem kleineren oder grösseren Teil. Das Ausmass der Kapazitätsbelastung durch einen Auftrag wird durch seine Operationszeiten bestimmt. Die Summe der Kapazitätsbelastungen innerhalb einer Periode sollte möglichst nahe an die Kapazität des Fertigungsmittels oder der Gruppe von Fertigungsmitteln herankommen. Schliesslich können die Bedarfszeitpunkte und Bedarfsmengen der Aufträge eine sehr ungleichmässige Verteilung der Kapazitätsinanspruchnahme innerhalb einer Planungsperiode be-

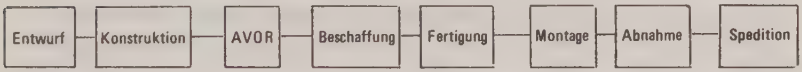
wirken. Bei einer grossen Zahl von Aufträgen gleicht sich die Verteilung der Kapazitätsinanspruchnahme unter Umständen aus. Wo aber einige wenige Grossaufträge nebeneinander oder zusammen mit kleineren Aufträgen gefertigt werden, darf man diese Verteilung nicht ausser Acht lassen. Dann muss die Belastungsplanung neben den Operationszeiten der einzelnen Aufträge auch ihre Zwischenzeiten berücksichtigen.

3 Merkmale der Fertigungsverfahren

Unter Fertigungsverfahren verstehen wir die Art und Weise der Kombination von Aufträgen und Fertigungsmitteln zu einem Produktionsablauf. Eine klare Unterscheidung von Typen ist schwierig, da sowohl die Merkmale von Aufträgen und Fertigungsmitteln als auch ihre Kombination sehr vielfältig sind. Aus der Vielzahl der Möglichkeiten wählen wir jene aus, die für die Problematik des Terminwesens von Bedeutung zu sein scheinen.

3.1 Einmalige Fertigung - Wiederholfertigung

Eine einmalige oder erstmalige Fertigung folgt dem Entwurf, der Konstruktion, der Arbeitsvorbereitung und der Beschaffung von Materialien und Fremdteilen. Das Prüfen des Produktes bei der Abnahme und der Versand an den Kunden nehmen oft erhebliche Zeit in Anspruch.



Somit haben Tätigkeiten vor und nach der eigentlichen Fertigung eine grosse Bedeutung für die Durchlaufzeit eines Auftrages. Untersuchungen über ihre Aufteilung auf einzelne Produktionsbereiche in der Maschinen- und Apparateindustrie haben einen Anteil für die Konstruktion, AVOR und Beschaffung von 50 bis 70 % ergeben, für die Fabrikation von 20 bis 30 %, für die Montage ebenfalls

von 10 bis 30 %. (1) Deshalb darf sich das Terminwesen nicht auf die Planung und Steuerung des Auftragsdurchlaufes durch die eigentlichen Fertigungsbereiche beschränken, sondern muss alle Tätigkeiten berücksichtigen, die zur Erstellung eines Produktes beitragen. Besonders schwierig ist die Terminierung, wenn wichtige Arbeiten ausserhalb der Unternehmung stattfinden, z.B. statische Berechnungen innerhalb der Konstruktionsaufgabe oder der Bau eines Gebäudes für die Aufnahme der bestellten Telefonzentrale.

Bei wiederholter Fertigung ist die Aufgabe im voraus bekannt. Konstruktion und AVOR sind nicht notwendig. Das Terminwesen kann sich auf die eigentlichen Fertigungsbereiche und eventuell auf die Beschaffung und Spedition beschränken.

Diese etwas absolute Feststellung muss insofern eingeschränkt werden, als ein gewisses Ausmass an AVOR (Auftragspapiere erstellen, Maschinenbelegungspläne machen, usw.) immer notwendig ist. Der dafür benötigte Zeitbedarf wächst in dem Masse, wie die Zeitspanne zwischen der geplanten und der zuletzt durchgeführten Produktion zunimmt.

Bis jetzt haben wir lediglich die Wiederholhäufigkeit der Fertigung betrachtet. Auch bei einmaliger Fertigung eines komplizierten Produktes können Standard- oder Normteile

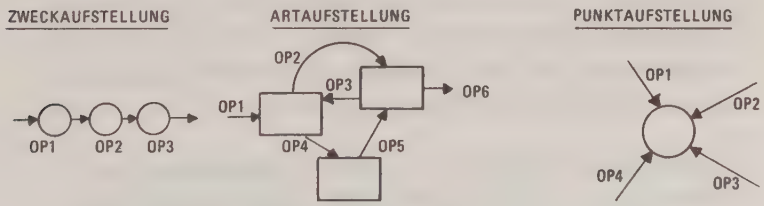
---

(1) Opitz H., Brankamp K., Arlt J., Untersuchung über die Einsatzmöglichkeiten elektronischer Datenverarbeitungsanlagen in der Produktionsterminplanung, Köln 1970, S. 5 - 7

und Baugruppen verwendet werden. Dies erlaubt die Auswertung von Vorteilen der Wiederholfertigung. Baukastenfertigung ist die Erstellung eines Endproduktes unter Zuhilfenahme von vorfabrizierten Teilen und Baugruppen. Bei einer Baukastenfertigung eines Individualgutes muss also nur die Endmontage als einmaliger Vorgang geplant und gesteuert werden, während das Erstellen der Standard-Teile und -Baugruppen wiederholte Fertigung ist. Eine reine Baukastenfertigung ist aber nur der Grenzfall einer Fertigung, wo gewisse Teile und Baugruppen wiederholt, andere dagegen im Zusammenhang mit einem Produktauftrag einmalig gefertigt werden. Statt von Wiederholhäufigkeit spricht man also besser von einem Erstausführungsanteil der Fertigung (1).

3.2 Werkstattfertigung - Reihenfertigung - Baustellenfertigung

Das Layout ist eines der wichtigsten Merkmale der Entscheidungssituation, indem ein bestimmter Layouttyp die Terminproblematik und den Rahmenentscheid über ein Terminwesen wesentlich beeinflusst. Unter Layout verstehen wir die räumliche Anordnung der Fertigungsmittel. Wir unterscheiden folgende Layouttypen:



(1) Gübeli L., Produktionsplanung und -steuerung bei Brown-Boveri, in: Industrielle Organisation 37 (1968) No. 6, S. 359 bis 366

Bei Zweckaufstellung werden die Fertigungsmittel so angeordnet, dass die für die Fertigung eines Produktes notwendigen Operationen der Reihe nach ablaufen können. Deshalb spricht man hier oft auch von Reihenfertigung. Bei reiner Zweckaufstellung der Fertigungsmittel wird die zeitliche Planung des Auftragsdurchlaufes durch die Fertigung äusserst einfach. Ist das Layout einmal festgelegt und sind sogar die Kapazitäten der einzelnen Fertigungsmittel innerhalb einer "Linie" oder "Strasse" durch "line balancing" aufeinander abgestimmt, ist die Durchlaufzeit eines Auftrages eine reine Funktion der Stückzahl und die Terminplanung braucht nur noch festzulegen, in welcher Reihenfolge einzelne Aufträge bearbeitet werden. Die Auftragsdurchlaufzeit als globale Grösse genügt dem Terminwesen, es braucht sich nicht mit Operations-, Transport- und Liegezeiten zu befassen. Es muss nicht festlegen, welche Operationen an welchen Fertigungsmitteln ausgeführt werden sollen, wie lange sie dauern, wann sie beginnen und enden. Es kann den Fertigungsvorgang als Ganzes betrachten, wobei lediglich die Termine der ersten oder letzten Operation und eventuell einiger weiterer Schlüsseloperationen für die Verknüpfung mit Beschaffungs- und andern Fertigungsaufträgen eine Rolle spielen. Der Grenzfall von Zweckaufstellung ist jene Situation, wo die zur Bearbeitung von Aufträgen benötigten Fertigungsmittel an einem "Punkt" konzentriert werden. Ein Beispiel ist ein Brennofen in der keramischen Industrie oder ein Fertigungsautomat.

Artaufstellung bedeutet, dass Fertigungsmittel, die gleiche oder ähnliche Operationen durchführen, räumlich zusammen angeordnet werden in Werkstätten wie Dreherei, Fräserei, Schreinerei usw. Man spricht deshalb von Werkstattfertigung. Das Terminwesen spielt hier innerhalb der Produktionsplanung und -steuerung eine grosse Rolle.

Da in der Regel viele Aufträge (n) zur gleichen Zeit von vielen Fertigungsmitteln (m) bearbeitet werden, wird die Planung und Steuerung sehr komplex (m x n - Matrix). Die Belastung der Fertigungsmittel ändert sich mit der Zusammensetzung des Auftragsbestandes. Weil die Zwangsläufigkeit eines Ablaufes fehlt, muss der Durchlauf jedes einzelnen Auftrages durch die Fertigung geplant werden. Voraussetzung für eine solche Planung ist ein Operationsplan, der die Operationsreihenfolge, die zu verwendenden Fertigungsmittel, Werkzeuge und Vorrichtungen, die voraussichtlichen Fertigungszeiten und die benötigten Materialien beschreibt. Operationspläne können für gleiche oder ähnliche Produkte standardisiert werden. Die auftragsunabhängige Planung vermindert den Planungsaufwand und damit die Durchlaufzeit für den konkreten Auftrag und ermöglicht unter Umständen Planungshilfsmittel und -methoden, die bei einer Fall-zu-Fall-Planung unwirtschaftlich wären.

2.3.3 Bestellfertigung - Programmfertigung

Bei der Fertigung eines Individualgutes bestimmt in der Regel der Kunde Bedarfsmenge, Bedarfszeitpunkt und Aufbau des Produktes. Deshalb geht der Bestellung eine Angebotsphase voraus. Das Terminwesen hilft bei der Festlegung des Liefertermins. Dabei muss mit einem ziemlich grossen Mass an Unsicherheit gerechnet werden:

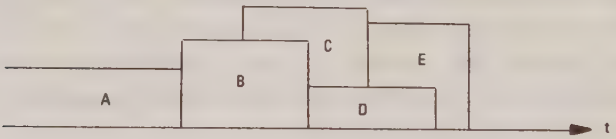
- Die endgültige Bestellung kann hinsichtlich Produktaufbau, Bedarfsmengen und Bedarfszeitpunkte gegenüber dem Angebot Aenderungen aufweisen.

- Die durchschnittliche Erfolgschance bei der Abgabe von Angeboten kann je nach Branche und Unternehmen stark variieren.

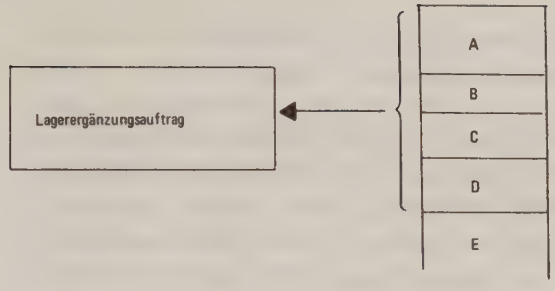
- Die Planung erfolgt meistens unter Zeitdruck.

- Auch nach Bestellungseingang kann der Kunde Aenderungen an den Auftragsmerkmalen verlangen.

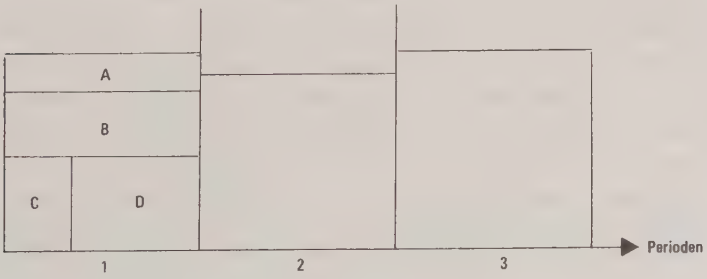
Die Gesamtheit der Offerten und Bestellungen ergibt einen "Bestand" an Fertigungsaufträgen, die hinsichtlich Produktaufbau, Bedarfsmenge, Bedarfszeitpunkt, Fertigungszeiten, Durchlauf und die Fertigungsbereiche usw. stark voneinander abweichen. Der Durchlauf jedes einzelnen Auftrages durch die Produktion muss für sich allein geplant und gesteuert werden.



Bei der Standardgüterfertigung legt der Produzent den Produktaufbau vor dem Eingang der Kundenbestellungen fest. Die Nachfrage nach dem Produkt ist aber hinsichtlich der Bedarfsmengen und der Bedarfszeitpunkte nicht prognostizierbar. Die Leistungserstellung folgt entweder direkt einer Kundenbestellung oder dient der Lagerauffüllung. Für die Produktionsplanung und -steuerung gibt es meistens weniger Probleme, wenn die Güter an ein Lager statt direkt an einen Kunden geliefert werden, denn das Lager dient als Puffer zwischen Markt und Produktion und ermöglicht die Zusammenfassung vieler kleiner Kundenbestellungen innerhalb einer Planungsperiode. Diese Zusammenfassung erlaubt es, die "Losgrösse" als Variable im Feinentscheid zu verwenden.



Massengüterfertigung ist die Herstellung von grossen Mengen identischer oder ähnlicher Produkte. Das Hauptziel der Produktionsplanung und -steuerung besteht in der Aufrechterhaltung einer möglichst konstanten Leistungsrate während einem Planungszeitraum. Das Terminwesen steuert die Anlieferung von Rohmaterialien und Teilen und den Transport von Zwischen- und Endprodukten und plant die Reihenfolge der Bearbeitung an den einzelnen Fertigungsmitteln. Eine gewisse Standardisierung der Produkte, Wiederholfertigung und grössere Stückzahlen führen öfters zu einer Zweckaufstellung der Fertigungsmittel. Die Fertigungsaufgabe wird von Periode zu Periode im voraus durch ein "Produktionsprogramm" festgelegt. Seine Elemente werden vielfach als "Serien" bezeichnet und mit Seriennummern identifiziert.



Zwischen reiner Bestellfertigung und reiner Programmfertigung gibt es Mischformen. Gewisse Produkte können nach Programm, andere aufgrund einer Kundenbestellung gefertigt werden. Oder ein langfristiges Programm zur Herstellung von Standardgütern kann von kurzfristigen Kundenbestellungen "abgelöst" werden, wobei z.B. ein Grundtyp aufgrund von Kundenspezifikationen mit Ausführungsvarianten ergänzt wird. Oder langfristige Kundenaufträge können in einem kurzfristigen Programm zusammengefasst werden (Sammelauftragsfertigung), wobei man z.B. darauf achten kann, dass ein Sammelauftrag immer dem Tagesausstoss einer bestimmten Abteilung oder einem Bahnwaggon oder der Kapazität eines Brennofens usw. entspricht.

RAHMENENTSCHEID

Die planerische Tätigkeit in einer bestimmten Situation soll durch einen "Rahmen" zugleich ermöglicht und begrenzt werden. Dabei sind in jedem Fall gewisse Probleme zu lösen, handle es sich nun um das Terminwesen, den Finanzbereich, das Marketing usw. Solche Probleme betreffen

die Vollständigkeit der Planung,
die Intensität der Planung,
das Risiko der Planung,
die Kontrolle der Planung,
die Organisation der Planungsfunktion.

Eine "vollständige Planung" braucht nicht bis ins kleinste Detail zu gehen; auch eine "Umrissplanung" kann im Sinne einer "Berücksichtigung aller entscheidender Tatbestände ausser- und innerbetrieblicher Art" (1) vollständig sein. Ob eine Umrissplanung genügt und die Gestaltung von Einzelheiten den ausführenden Stellen überlassen wird, hängt letztlich von der Politik einer Unternehmung und der Komplexität der Entscheidungssituation ab. Klein- oder Grossbetrieb, kooperativer oder zentralistischer Führungsstil, regelmässig wiederholte oder sich stets ändernde Leistungserstellung, übersichtliche oder komplexe Arbeitsabläufe sind Faktoren, die den Detaillierungsgrad und die "Intensität" einer Planung als Einsatz von bestimmten Methoden und Instrumenten bestimmen. Auch eine sehr detaillierte und intensiv betriebene Planung schliesst das Risiko einer Abweichung der geplanten von den später sich einstellenden Werten nicht aus, denn die Produktion ist nicht deterministisch, sondern stochastisch. Aus diesem Grunde müssen Reserven in die Pläne eingebaut werden

(1) Gutenberg E., a.a.O., S. 150 f.

Gutenberg (1) bezeichnet den gezielten Einsatz von Reserven als "obersten Grundsatz aller Planung". Die Planungskontrolle vergleicht die tatsächlich erzielten Resultate mit den geplanten. Dieser Vergleich kann schon während der Laufzeit des Planes und nicht erst nach seinem Abschluss durchgeführt werden, um Abweichungen rechtzeitig zu erkennen, Revisionen oder Steuerungsmassnahmen einzuleiten und einen wirklichkeitsgerechten Uebergang von der alten auf die neue Planung zu gewährleisten. Mit der Kontrolle der Planung eng verknüpft ist die Organisation der Planungs- und Steuerungsfunktion.

Wenn wir jetzt einzelne Elemente eines "Rahmens" für ein Terminwesen betrachten, halten wir uns an diese Einteilung der generellen Problematik. Uns interessiert vor allem die Frage nach dem Detaillierungsgrad und der Intensität der Planung und Steuerung. Der Detaillierungsgrad ist eine direkte Folge der Gliederung der Fertigungsmittel und der Einteilung der Zeitachse. Die Intensität der Planung fassen wir als Einsatz von bestimmten Methoden und Instrumenten auf. Detaillierungsgrad und Intensität der Planung beeinflussen das Planungsrisiko. Diese Zusammenhänge wollen wir jetzt untersuchen. Auf die Kontrolle der Planung und die Organisation der planenden und steuernden Funktionen gehen wir erst in den Beispielen aus der Praxis ein.

Die Unternehmung legt den Rahmenentscheid auf längere Zeit fest. Eine Ueberprüfung drängt sich auf, wenn die damit verknüpften Zielvorstellungen erreicht oder überschritten worden sind, wenn die Zielsetzungen mit dem geschaffenen Rahmen nicht erreicht werden können oder wenn sich diese Zielvorstelllungen oder die Konstanten der Entscheidungssituation wesentlich verändern. Elemente des Rahmenentscheides sind die Planstellen, die zeitliche Grundstrucktur, die Detaillierungsstufen der Planung, die Methoden der Durchlaufterminierung, Belastungsplanung und Zeiterfassung und die Instrumente der Planung und Steuerung.

---

(1) a.a.O., S. 172

1 Definition von Planstellen

Unter einer Planstelle verstehen wir eine Maschine oder einen Arbeitsplatz als Kombination Mensch - Maschine oder eine nach irgend einem Gesichtspunkt zusammengefasste Mehrzahl solcher Elemente. Die Planstellengliederung grenzt den Produktionsablauf vom übrigen Geschehen in einer Unternehmung ab. Wie zwischen den Elementen eines Produktes kann auch zwischen den Elementen der Produktionskapazität eine hierarchische Beziehung aufgebaut werden. Wir unterscheiden:

Unternehmenskapazität
Bereichskapazität
Teilbereichskapazität
Gruppenkapazität
Einzelkapazität

Diese Gliederung ist nach funktionalen Gesichtspunkten möglich: Funktionsgleiche oder ähnliche Kapazitäten werden zusammengefasst, wobei sie innerhalb der Gliederungsstufe als austauschbar betrachtet werden. Daneben können auch räumliche, technologische, verantwortungsmässige und verrechnungstechnische Gegebenheiten berücksichtigt werden.

1.1 Einstellenplanung - Mehrstellenplanung

Das Problem der Mehrstellenplanung liegt in der Aufteilung einer Auftragsdurchlaufzeit auf einzelne Planstellen. Man muss wissen, wie die Aufträge die einzelnen Planstellen durchlaufen, d.h. in welcher Reihenfolge die Operationen eines Auftrages ablaufen und in welcher Reihenfolge die Aufträge von einer Planstelle bearbeitet werden. Die Lösung dieses doppelten Reihenfolgeproblems

setzt mehr Informationen über die Fertigungszeiten der Aufträge und die Belastungssituation der Planstellen voraus als bei Einstellenplanung, wo nur die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung geplant werden muss. Deshalb wird wenn möglich eine Planung als Einstellenplanung gestaltet. Das ist leicht möglich, wenn durch das Fertigungsverfahren einfache und übersichtliche Verhältnisse gegeben sind. Deshalb spielt das Layout der Fertigungsmittel bei der Definition von Planstellen eine wichtige Rolle. Bilden die Fertigungsmittel eine "Linie" oder "Strasse", so können sie in einer einzigen Planstelle zusammengefasst werden. Sind sie dagegen auf mehrere Werkstätten verteilt, entspricht die örtliche Anordnung meistens der Planstellengliederung. Die Angaben über Kapazität und Zusammensetzung einer Planstelle sind dann in einem "Fabrikationsgruppenverzeichnis" enthalten. Ob neben dem Layout für die Planstellengliederung noch andere Gesichtspunkte in Frage kommen, hängt vor allem vom Erstausführungsanteil der Fertigung ab. Bei einmaliger bzw. erstmaliger Fertigung müssen neben der Fabrikation und Montage noch der Entwurf, die Konstruktion, die Arbeitsvorbereitung, die Beschaffung, die Abnahme und die Spedition geplant werden. Jede dieser Funktionen kann in einer Planstelle zusammengefasst werden. Dass ein bestimmtes Fertigungsverfahren eine Planstellengiederung lediglich "inspiriert", nicht aber zwingend vorschreibt, zeigt der häufig anzutreffende Spezialfall der Einstellenplanung, den wir "Engpassplanung" nennen.

2 Engpassplanung

Die Durchlaufzeit und Belastung des Auftrages werden aufgeteilt in eine Durchlaufzeit und Belastung im Engpass, sowie eine blosse Durchlaufzeit vor dem Engpass und nach dem Engpass. Die Fertigung im Engpass wird sehr genau geplant, während man der Fertigung vor und nach dem Engpass praktisch keine Beachtung schenkt. Die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung durch den Engpass wird genau festgelegt, die Bearbeitung der Aufträge durch die vor- und nachgelagerten Planstellen richtet sich dann danach aus.

Die Engpassplanung berücksichtigt die Forderung, dass die gesamte Planung auf den schwächsten Teilbereich betrieblicher Betätigung, auf einen Minimumsektor, Rücksicht nehmen muss (1). Moore (2) fasst einen Engpass nicht allein als eine Stelle im Produktionsablauf auf, vor der sich die Aufträge wegen der beschränkten Kapazität chronisch stauen. Ein "Engpass" kann auch eine Stelle sein, die eine Schlüsseloperation ausführt, wie z.B. das Walzwerk in der Stahlbearbeitung oder die Druckerpresse bei der Herstellung von Büchern, Zeitungen und Zeitschriften. Der "Engpass" ist dann eine sehr grosse, sehr teure Maschine oder Anlage, deren Kapazität für alle übrigen Fertigungsmittel von ausschlaggebender Bedeutung ist, indem es unter keinen Umständen erlaubt ist, dass in einem andern als dem Engpassbereich ein Flaschenhals auftritt. Alle übrigen Fertigungsmittel haben in einem solchen Produktionsablauf einen bloss vorbereitenden oder ergänzenden Charakter.

---

(1) Gutenberg E., a.a.O., S. 164

(2) Moore F.G., Jablonski R., Production Control, 3rd edition, New York etc. 1969, S. 640

3.2 Aufbau der zeitlichen Grundstruktur

Der Planungszeitraum bildet den zeitlichen Rahmen für die Planung und Steuerung des Produktionsablaufs. Seine Aufgliederung wird im Betriebskalender dargestellt und beeinflusst die Art und Weise der Revision und "Fortschreibung" der Pläne durch Hinzufügen neuer Zeiträume.

3.2.1 Die Aufgliederung des Planungszeitraumes

Bei Bestellfertigung ergibt sich die Produktionsaufgabe aus einem Bestand an Aufträgen und Offerten. Der Planungszeitraum erstreckt sich bis zum Liefertermin, der am weitesten in der Zukunft liegt. Bei Programmfertigung ist der Planungszeitraum dagegen im voraus festgelegt und ändert sich im Zeitablauf nicht. Seine Länge ist abhängig von den Anforderungen, die an die Genauigkeit einer Prognose gestellt werden und von den Gegebenheiten eines bestimmten Produktionsablaufes, insbesondere von der durchschnittlichen Länge der Auftragsdurchlaufzeiten.

Nun wird vielfach nach Bestellung und nach Programm produziert. Langfristige Produktaufträge müssen neben kurzfristigen Aufträgen für Vorratsteile terminiert werden oder kurzfristige Bestellungen lösen langfristige Programme ab. Die Elastizität der Kapazität nimmt meistens stufenförmig mit zunehmender Entfernung von der Gegenwart zu. Je weiter voraus man blickt, umso grösser wird auch die Unsicherheit über die Plandaten. Und schliesslich verändert sich die Planungsaufgabe, je weiter man in die Zukunft vorstösst: Statt einen Vorgang in all seinen Details festzulegen, werden Richtwerte und Rahmenbedingungen für später vorzunehmende Entscheide gesetzt. Darum entsteht das Bedürfnis nach verschiedenen Planungen mit

unterschiedlichen Planungszeiträumen. Wir übernehmen die in der Literatur allgemein gebrauchte Einteilung in langfristige, mittelfristige und kurzfristige Planung. Ueber die Länge einer solchen Fristenstufe sind keine generellen Aussagen möglich. Um die Verknüpfung der einzelnen Pläne zu erleichtern, sollte der längste Planungszeitraum ein Vielfaches des kürzesten betragen.

Dies und die Notwendigkeit einer übersichtlichen Darstellung der Pläne führt zu einer weiteren Aufteilung des Planungszeitraumes in Terminperioden. Eine feine Unterteilung setzt aber eine genaue zeitliche Bestimmung der Bedarfsmengen und Bedarfszeitpunkte und eine detaillierte Verteilung der Kapazität über den Planungszeitraum voraus. Sie hat also gegenüber einer groben Unterteilung den Nachteil, dass die Komplexität eines Modells der Auftragsterminierung und Belastungsplanung mit zunehmender Verfeinerung ansteigt. Terminperioden sind insbesondere ein Instrument der Kapazitäts- und Belastungsplanung. Wo Kapazität und Belastung nicht global für den gesamten Planungszeitraum erfasst werden, sind Kapazitäts- bzw. Belastungsperioden die Instrumente einer detaillierten Planung.

Eine Termineinheit ist "die in der Terminplanung verwendete Einheit zur Unterteilung der Zeitachse" (1). Ihre Länge hängt ab von der Fristenstufe (lang - mittel - kurz) der Planung und der dabei verwendeten Definition der Terminperioden. Gilt als Terminperiode ein Arbeitsmonat, empfiehlt sich als Termineinheit in den meisten Fällen ein Arbeitstag. Eine Terminperiode von einer Arbeitswoche kann in 5 Arbeitstage oder 10 Halbtage oder 44 Arbeits-

---

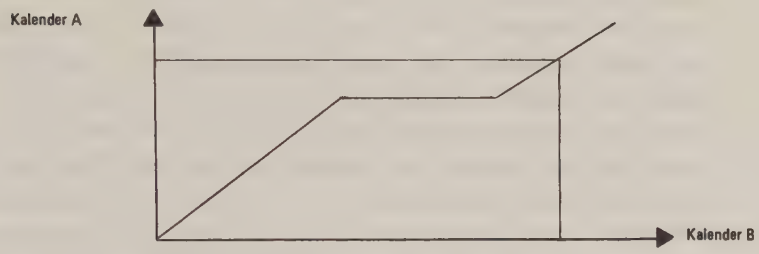
(1) Terminologie, a.a.O., S. 28

stunden eingeteilt werden. Die Länge der Termineinheit beeinflusst die Auftragsdurchlaufzeiten. Werden pro Auftrag viele Operationen geplant mit relativ langen Termineinheiten, wird die Auftragsdurchlaufzeit unter Umständen sehr lang. Das bedeutet viel Liegezeit. Eine Verbesserung kann dann entweder durch eine kürzere Termineinheit oder eine "gröbere" Planstellengliederung mit weniger Operationen erzielt werden. Der Aufgliederung des Planungszeitraumes muss also die Aufteilung der Unternehmungskapazität gegenübergestellt werden. Diese Gegenüberstellung ergibt die Detaillierung einer Planung, auf die wir in einem späteren Abschnitt eingehen werden.

3.2.2 Der Betriebskalender

Zur Vermeidung von kalendarischen Störeinflüssen (Wochenende, Feiertage, Ferien) geht man bei der Unterteilung des Planungszeitraumes vom gregorianischen Kalender ab. In einem Betriebskalender werden nur Arbeitstage und Arbeitsstunden berücksichtigt. Ein Arbeitstag hat dann z.B. 8,5 Stunden, eine Woche 42,5 Stunden, ein Monat 170 Stunden. Da eine unterschiedliche Anzahl von Arbeitstagen je Terminperiode zu Vergleichsschwierigkeiten führt, nummeriert man die Arbeitstage innerhalb eines Kalenderjahres fortlaufend und verteilt sie auf 13 "Monate". Oder man wechselt alle 1'000 Tage den Kalender und verzichtet somit auf Jahr und Monat. Unter Umständen werden verschiedene Einteilungen gleichzeitig angewendet. So arbeiten dann Abteilungen mit unterschiedlicher Arbeitszeit und Feiertageregelung mit einem eigenen Betriebskalender. Die Zuordnung des Betriebskalenders zum gregorianischen Kalen-

der oder zu einem andern Betriebskalender lässt sich mit Hilfe einer Matrix darstellen.



Intern werden Termine meistens in der vom Betriebskalender gegebenen Form vorgeschrieben, z.B. mit der Nummer des Arbeitstages oder der Arbeitsstunde innerhalb der Planungsperiode. Termine können dann einfach durch Addition oder Subtaktion verschoben werden (z.B. 252 + 6 = 258) oder durch Anpassung in der Matrix der Kalendertage und -stunden und Arbeitstage und -stunden(z.B. Tag 252 alt = 19.7.74, Tag 252 neu = 26.7.74, Terminverschiebung = 6 Arbeitstage). Nicht eingeplante Tage, z.B. Wochenende, haben im Betriebskalender keine Nummer und brauchen auch keine, da sie höchstens für das Aufholen von Terminrückständen gebraucht werden (1).

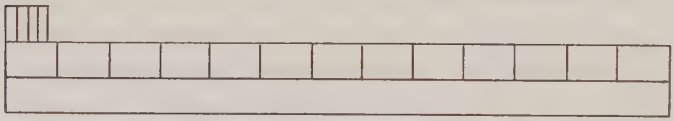
3.2.3 Planrevision

In welcher Weise wird ein Planungszeitraum in die Zukunft "vorgetrieben"? Wir unterscheiden eine einfache Planung mit geschlossenen Planungszeiträumen und eine mehrfache Planung mit offenen, überlappten Planungszeiträumen.

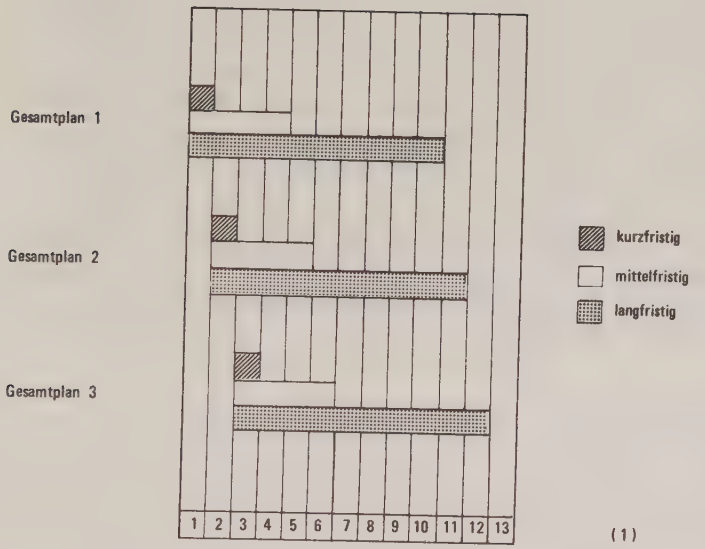
---

(1) siehe Moore F.G., Jablonski R., a.a.O., S. 310 ff.

Bei der einfachen Planung sind die Planungszeiträume insofern geschlossen, als sie bei einer allfälligen Wiederholung oder Revision der Planung nicht in die Zukunft "vorgetrieben" werden. Ein neuer Planungszeitraum wird erst dann in Angriff genommen, nachdem ein alter Plan ganz oder zum grossen Teil realisiert worden ist. Die Planung wird in Intervallen wiederholt, die der Länge des Planungszeitraumes entsprechen. Die Abbildung zeigt als Beispiel einen Jahresplan, aufgrund dessen 13 Monatspläne erstellt werden, die wiederum die Grundlage für je 4 Wochenpläne bilden.



Die mehrfache Planung mit offenen, überlappten Planungszeiträumen wird auch "rollend" genannt, weil sich die Planungszeiträume aufeinanderfolgender Planungen überdecken. Diese "mehrfache" Planung eines Zeitraumes führt im Vergleich zur einfachen Planung zu kürzeren Intervallen, wobei der zusätzlich Planungsaufwand gegenüber dem Ertrag aus der grösseren Elastizität der Pläne abgewogen werden muss. Der Planungszeitraum wird bei jeder Planung um eine oder mehrere Terminperioden in die Zukunft "vorgetrieben", was wie folgt dargestellt werden kann:

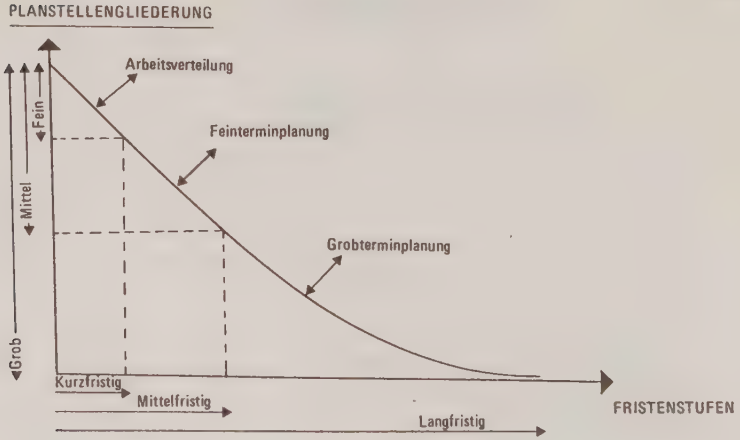


(1)

(1) Hackstein R., Uphus P.H., Möglichkeiten der Koordination im System der Unternehmungsplanung, in: Industrielle Organisation 42 (1973) Nr. 4, S. 166

3.3 Die Detaillierungsstufen der Planung: Grobterminplanung - Feinterminplanung - Arbeitsverteilung

Nun wollen wir die Planstellengliederung und die Unterteilung des Planungszeitraumes miteinander verbinden. Die "Detaillierungsstufe" einer Planung ist die Kombination einer bestimmten Planstellen- und Zeitraum-Gliederung. Das Wort "Stufe" deutet an, dass das Terminwesen verschiedene solche Gliederungen in einer bestimmten Reihenfolge verwendet. Vorerst stellt sich die Frage nach der optimalen Zahl von Stufen. Zuviele Stufen machen das Terminwesen schwerfällig. Deshalb unterscheidet man meistens drei Stufen: Die Stufen grob - mittel - fein der Planstellengliederung werden den Fristen lang - mittel - kurz zugeordnet.



Jede Terminplanungsstufe muss bestimmte Aufgaben lösen. Diese hangen in erster Linie von den Merkmalen der Entscheidungssituation ab.

Die Grobterminplanung einer Bestellfertigung errechnet vor allem den Liefertermin eines Auftrages. Bei langen Fertigungszeiten oder vielen ausführenden Stellen sollen frühzeitig Ecktermine für die einzelnen Etappen der Auftragsabwicklung ermittelt werden (z.B. Termin für den Zusammenbau des Ober- und Unterteils einer Maschine, Termine für den Abschluss der Konstruktionsarbeiten, die Freigabe der Werkstattpapiere, den Beginn der Montage, den Abschluss der Versuche). Diese Termine können in der Regel nur in Kenntnis der Belastung in grösseren Planstellen gesetzt werden. Insbesondere stellen sich die Fragen: Entspricht die voraussehbare Belastung der verfügbaren Kapazität? Ist eine Ueber- oder Unterbelastung zu erwarten? Wie weit hinaus sind die Planstellen vorbelastet? Wie werden sich Offerten auf die Belastung auswirken? Durch welche Massnahmen lassen sich voraussichtliche Engpässe beheben?

Bei Programmfertigung verteilt die Grobterminplanung die festgesetzten Bedarfs-Mengen und -Zeitpunkte so auf den Planungszeitraum, dass die Planstellen möglichst gleichmässig ausgelastet sind und die Lagerbestände den Grundsätzen der Lagerhaltungspolitik entsprechen.

Obwohl eine Terminfeinplanung auch in andern Bereichen der Produktion möglich ist (z.B. in der Konstruktionsabteilung oder in der AVOR), wird als Objekt der Feinterminplanung meistens die Auftragsabwicklung in der Fertigung (Fabrikation und Montage) bezeichnet. Bei einer Einstellenplanung beschränkt sich die Aufgabe der Feinterminplanung auf das Festlegen einer Reihenfolge der Auftragsbearbeitung. Bei der Mehrstellenplanung muss für jeden Auftrag der Durchlauf durch die Planstellen

festgelegt werden. Ausgehend vom Liefertermin oder einem Ecktermin der Grobplanung werden Zwischentermine für einzelne Fertigungs-Operationen unter Berücksichtigung der "Vorbelastung" der Planstellen ermittelt. Als Arbeitsverteilung bezeichnen wir alle Massnahmen, die der Verwirklichung des Feinterminplans dienen. Das klassische Hilfsmittel für den Meister oder Arbeitsverteiler ist das sog. Arbeitsprogramm, das zeigt, welche Arbeiten innerhalb einer Periode von einer Planstelle auszuführen sind, von welchen Stellen sie angeliefert werden und an welche Stellen sie abgeliefert werden müssen. Je nach dem Detaillierungsgrad der Planung und der verwendeten Instrumente werden noch zusätzliche Informationen über die Aufträge und die Fertigungsmittel vorgesehen wie Prioritätskennzahlen, Ablieferungstermine, Angaben über den Verzug oder Zeitpuffer, Kapazität und Kapazitätsbelastung. Arbeitsprogramme können dem Meister oder Arbeitsverteiler ein relativ grosses Mass an Dispositionsfreiheit überlassen oder aber eine "optimale" Reihenfolge im wissenschaftlich exakten Sinne oder bloss als Annäherungslösung vorschreiben.

Zum Schluss vergleichen wir die Aufgaben der Terminplanung und -steuerung und der Arbeitsvorbereitung innerhalb einer Produktionsplanung. Dabei ist zu beachten, dass eine AVOR im eigentlichen Sinne eher der Fertigung mit hohem Erstausführungsanteil in Werkstätten als andern Verfahrenstypen zuzuordnen ist. Hauptaufgaben des Terminwesens im Rahmen der Produktionsplanung ist die Frage nach dem "wann", während sich die Arbeitsvorbereitung mit dem "wie und wo" auseinandersetzt. Diese Aufgabentrennung lässt sich aber nicht immer aufrechterhalten, weil die Terminplanung in einigen Fällen der AVOR vorangeht (Grobterminplanung), in anderen Fällen als der AVOR nachgelagerte Tätigkeit Aenderungen am Ablaufplan vornimmt (Fein-

terminplanung und Arbeitsverteilung). Die Frage nach dem "wann" kann also nie völlig von der Frage nach dem "wie und wo" getrennt werden. Beim Festlegen von Terminen der für die Auftragsabwicklung notwendigen Arbeiten treten daher Probleme auf, die sowohl von der Arbeitsvorbereitung als auch von der Terminplanung und -steuerung beachtet werden müssen.

Für jede Detaillierungsstufe der Planung können unterschiedliche Methoden und Instrumente eingesetzt werden. Durch Differenzierung und Spezialisierung kann die Entscheidungssituation der einzelnen Stufen berücksichtigt werden. Wir wollen nun zuerst einmal die verschiedenen Planungsmethoden und die ihnen zugrunde liegenden Situationsmodelle betrachten.

(1)

---

(1) Zur Stufenbildung siehe Meingast K., Erstellung von Einheitsfristenplänen für die Teilefertigung und Montage unter besonderer Berücksichtigung der Uebergangszeiten, Diss. Wien 1973

3.4 Methoden der Durchlaufterminierung und Belastungsplanung

Letzten Endes zielen viele methodische Bemühungen der betriebswirtschaftlichen Theorie auf den Idealfall, wo alle Entscheidungsvariablen gleichzeitig unter Berücksichtigung ihrer gegenseitigen Abhängigkeit festgelegt werden. Auf diese Weise wären sämtliche Variablen vollkommen aufeinander abgestimmt. Man kann diese Art von Planung als simultane Totalplanung bezeichnen (1): "Zur Realisierung einer simultanen Totalplanung fehlen aber noch wesentliche Voraussetzungen hinsichtlich der Formulierung der Zielfunktionen, der Ermittlung der interdependenten Variablen, der Analyse der Zusammenhänge, der Rechenkapazität und der Rechentechnik. Simultane Planungsmodelle sind als Totalmodelle ein Fernziel, das in absehbarer Zeit nur mit Hilfe von vereinfachenden Annahmen erreicht werden kann. Die Forschung auf dem Gebiet der Simultanplanung ist heute dadurch gekennzeichnet, dass sie eine gleichzeitige Festlegung der Aktionsvariablen in einem Planungsbereich (unisektorale Simultanmodelle) anstrebt und die hierfür erforderlichen Grundlagen schafft." Aus diesem Grunde wird das Terminwesen in einem System der Produktionsplanung und -steuerung einen selbständigen Planungsbereich darstellen. Aber auch innerhalb eines "Subsystems Terminplanung und -steuerung", ja selbst innerhalb einer Detaillierungsstufe (Grobplanung - Feinplanung - Arbeitsverteilung) machen der Konflikt zwischen einzelnen Zielen und die je nach Entscheidungssituation oft beträchtliche Zahl von Variablen eine Modellbildung sehr schwierig. Deshalb werden die Durchlaufterminierung der Aufträge und die Belastungsplanung der Fertigungsmittel häufig als sukzessiv zu koordinierende Teilplanungen innerhalb einer Detaillierungsstufe aufgebaut.

---

(1) Hackstein R., Uphus P.H., a.a.O., S. 165

Mit der Durchlaufterminierung soll eine Termin-Uebersicht je Auftrag erstellt werden. "..... ausgehend von der Gegenwart oder von dem aus der Grobterminplanung resultierenden Liefertermin, aufgrund des Operationsplanes und eventuell des Zusammenbauplanes (werden) mit Hilfe der verschiedenen Zeitelemente pro Operation die einzelnen Zwischentermine für die verschiedenen Operationen errechnet. Es wird hier lediglich abgeklärt, ob eine Durchführung eines bestimmten Auftrages unter Berücksichtigung seiner logischen Verknüpfung prinzipiell möglich ist, ohne die Belastungssituation der einzelnen Fertigungsgruppen und irgendwelche Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen gleichzeitig in Bearbeitung stehenden Aufträgen zu berücksichtigen." (1)

Die Belastungsplanung als reine Auflastung ermittelt die Belastung der Fertigungsmittel ohne Massnahmen des Belastungsausgleichs zu treffen. Die aufgrund einer Durchlaufterminierung zu erwartenden Belastungen werden pro Planstelle periodenweise aufsummiert. Dabei können eventuell Abgrenzungsprobleme auftreten. Auf die Weise erhält man neben der Termin-Uebersicht pro Auftrag auch eine Belastungsübersicht pro Planstelle. "Der Vergleich dieser Belastungssituation mit der vorhandenen Kapazität stellt bereits eine wesentliche Unterlage dar, um gezielte Massnahmen zu treffen, um allfällig entstehende - oder mindestens planerisch ausgewiesene - Ueber- oder Unterbelastungen auszugleichen." (2) Dieser Ausgleich von Ungleichheiten kann unter Umständen dazu führen, dass die drei Schritte Durchlaufterminierung, Auflastung und Belastungsausgleich mehrere Male wiederholt werden, bis ein zufriedenstellendes Resultat eintrifft.

---

(1) Haberfellner R., Rutz K., Integrierte Produktionssteuerung, in: Produktionsplanung und -steuerung mit EDV, Band 1, Zürich 1971, S. 62 ff.

(2) a.a.O., S. 62 ff.

Wir wollen nun auf die Methoden der Durchlaufterminierung und der Belastungsplanung eingehen, um uns dann zu fragen, ob die Nachteile der sukzessiv zu koordinierenden Teilplanungen nicht durch eine die drei Schritte vereinigende Simultanplanung überwunden werden können.

3.4.1 Vorwärtsterminierung - Rückwärtsterminierung

Die einzelnen Zwischentermine eines Auftrages können ausgehend vom Liefertermin "rückwärts rechnend" festgelegt werden. Damit werden Beginn und Ende der Operationen so spät als möglich eingeplant. Büchel (1) nennt folgende Vorteile einer Rückwärtsterminierung:

"- Die Kapitalbindung wird reduziert. Das ergibt einmal rein finanzielle Vorteile. Dann bedeutet eine Kapitalbindung in der Fabrikation auch eine Bindung von Kapazitäten. Wenn Bestandteile früher als unbedingt nötig hergestellt werden, so besteht immer die Gefahr, dass sie Kapazitäten beanspruchen, die für andere Teile dringender benötigt würden.

- Solange ein Auftrag noch nicht in der Werkstatt ist, können Auswirkungen von Konstruktions- oder Dispositionsänderungen leichter durchgeführt werden. Bei späterer Inarbeitnahme ist das Risiko, in den bereits laufenden Fabrikationsprozess eingreifen zu müssen, bedeutend geringer.

---

(1) Büchel A., Terminplanung und Terminüberwachung, in: Produktionsplanung und -steuerung mit EDV, Band 1, Zürich 1971, S. 83 ff.

- Falls am Durchlaufplan irgendwelche Korrekturen angebracht werden müssen, ist bei der Rückwärtsplanung eindeutig, dass ohne Verletzung des Endtermins nur in einer Richtung korrigiert werden kann. Dies vereinfacht die Planungsregeln."

Eine Vorwärtsterminierung führt bei bereits in Angriff genommenen Aufträgen zu kurzen Liegezeiten und hält damit die Kapitalbindung an Lagern möglichst klein. Sie eignet sich auch für den Fall, wo ein bestimmtes Auftragsvolumen zu den von der Grobterminplanung vorgegebenen Eckterminen mit der verfügbaren Kapazität nicht bewältigt werden kann. Bei der Suche nach freien Kapazitäten gelangt in diesem Fall die Rückwärtsterminierung immer näher an die Gegenwart, so dass Termine für einzelne Operationen unter Umständen in die Vergangenheit oder vor gewisse Ecktermine wie z.B. die Verfügbarkeit des Rohmaterials zu liegen kommen. Ausgehend vom Planungszeitpunkt oder einem Ecktermin kann die Vorwärtsplanung unter Umständen zu einem Ausgleich innerhalb der geplanten Auftragsdurchlaufzeit führen. Wo dies nicht der Fall ist, zeigt sie den bei unveränderter Kapazität zu erwartenden Lieferterminverzug an.

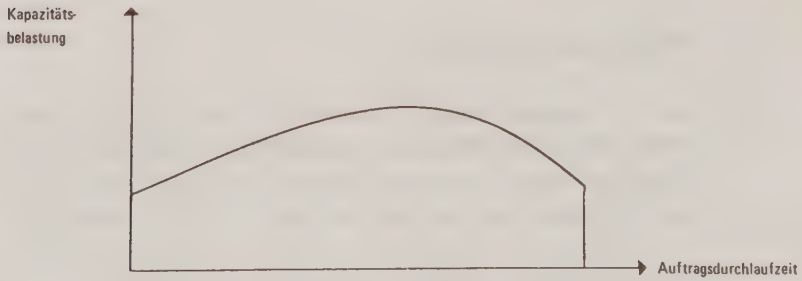
3.4.2 Rechteckapproximation

Die Rechteckapproximation dient der Vereinfachung der Belastungsplanung. Ihr Prinzip besteht darin, dass man die Kapazitätsinanspruchnahme innerhalb der Durchlaufzeit eines Auftrages als Rechteck auffasst, dessen Länge der Durchlaufzeit und dessen Höhe der durchschnittlichen Kapazitätsbelastung entspricht. Je nach der Grösse der Planstelle und nach den Merkmalen der Fertigungsaufträge wird sich die Abweichung der effektiven von der geplanten Belastung mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in bestimmten Grenzen halten. Je grösser die Planstelle und damit

die Zahl N der innerhalb des Planungszeitraumes zu bearbeitenden Aufträge ist, umso geringer wird die Streuung ausfallen. Deshalb begünstigt eine Einstellenplanung die Anwendung der Rechteckapproximation. Weinberg (1) verlangt aufgrund von statistischen Berechnungen eine Zahl N von mindestens 300. Bei einer sehr grossen Anzahl von Aufträgen kann die Gesamtbelastung einer Planstelle lediglich als Produkt aus der Auftragszahl und dem Mittelwert des pro Auftrag erforderlichen Kapazitätsbedarfs errechnet werden. Voraussetzung für diese Planung nach Auftragszahl ist nach Weinberg eine Zahl N von mindestens 400. Was die Merkmale des einzelnen Auftrags betrifft, so wird gefordert, dass die Verteilung der Kapazitätsinanspruchnahme über der Auftragsdurchlaufzeit nicht zu stark von einem Durchschnitt aller Aufträge abweicht. Aufträge mit stark abweichender Verteilung sollen von den übrigen Aufträgen ausgesondert werden. Diese Verteilung der Kapazitätsinanspruchnahme wird in einer "Durchlaufkurve" (2) dargestellt.

3.4.3 Durchlauf- und Belastungskurven

Durchlaufkurven zeigen die Verteilung der Kapazitätsinanspruchnahme einer Planstelle über der Durchlaufzeit eines Auftrages.



---

(1) Weinberg F., Ueber die Anwendung mathematischer Methoden mit spezieller Würdigung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Termin-Grobplanung für differenzierte Fabrikationsprogramme bei vorwiegender Serienfertigung, Diss. Zürich 1954, S. 38 ff.

(2) Siehe z.B. Opitz H., Brankamp K., Arlt J., a.a.O., S. 18 ff.

Die Planung wird einfacher, wenn man für einzelne Produkte oder Produktegruppen "standardisierte" Kurven verwendet. Bei der Einzelstückfertigung, etwa im Grossmaschinenbau, ist das ohne weiteres möglich, wo aber kleinere oder grössere Serien gefertigt werden, wechselt die Stückzahl pro Auftrag ständig. Die Durchlaufkurve ergibt sich dann aus der Summierung der zeitlich versetzten Kurve für ein Stück. In vielen Fällen wird die Durchlaufzeit durch die Stückzahl aber nur in geringem Ausmass beeinflusst. Man kann dann Tabellen von Belastungsfaktoren verwenden, welche die Belastung durch ein Stück in Abhängigkeit von der Stückzahl und der Länge der Durchlaufzeit korrigiert (1).

Durch Uebereinanderlegen der einzelnen Durchlaufkurven erhält man die Belastungskurve der Planstelle. Nun kann dies sehr aufwendig sein. Wir müssen aber daran denken, dass eine Planung mit Durchlaufkurven nur für Fälle vorgesehen ist, wo eine Rechteckapproximation oder eine Planung nach Auftragszahl nicht möglich ist, und wo deshalb die Zahl der Aufträge innerhalb eines Planungszeitraumes relativ klein ist. Zudem wird man möglichst wenige oder noch lieber nur eine einzige Planstelle verwenden. Deshalb werden Belastungskurven meistens nur für den Fertigungsbereich als Ganzes oder für einen Engpassbereich erstellt. Die Konstruktionsbüros, AVOR, Spedition, Einkauf usw. belastet man mit Rechtecken, weil man annimmt, dass diese Bereiche für den Auftrag gleichmässig verteilte Leistungen erbringen. Durchlauf- und Belastungskurven sind somit eher ein Instrument der Grobterminplanung als der Feinterminplanung.

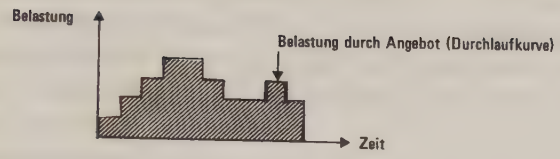
---

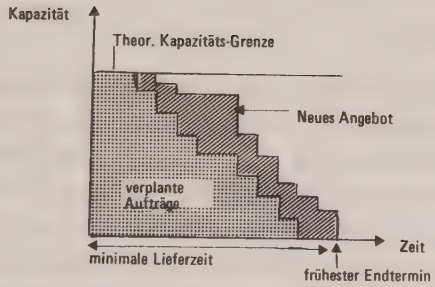
(1) Weinberg F., a.a.O., S. 53 ff. und S. 30 ff.

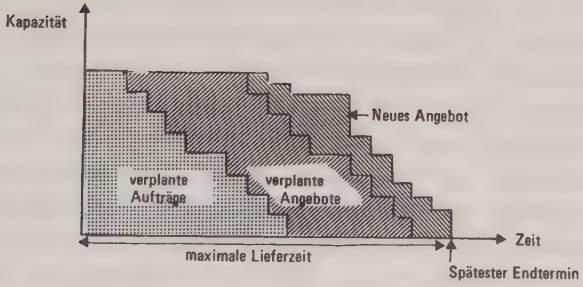
Hier noch ein Beispiel der Verwendung von Durchlauf- und Belastungskurven für die Angebotsterminierung: "Für das neu zu terminierende Angebot bestehen - ..... oben dargestellt durch das Belastungsprofil - hinsichtlich der konkurrierenden Angebote zwei Extremfälle:

a) Wird keines der laufenden Angebote in eine Bestellung umgewandelt, kann das neue Angebot unmittelbar in das durch die verplanten Aufträge gebildete Belastungsprofil eingelastet werden; so ergibt sich die minimale Lieferzeit bzw. der früheste Endtermin .....

b) Werden dagegen alle noch laufenden Angebote in Bestellungen umgewandelt, kann ein neues Angebot erst nach Berücksichtigung aller anderen Angebote eingelastet werden; so ergibt sich die maximale Lieferzeit bzw. der späteste Endtermin.....


Belastung
Belastung durch Angebot (Durchlaufkurve)
Zeit


Kapazität
Theor. Kapazitäts-Grenze
Neues Angebot
verplante Aufträge
Zeit
minimale Lieferzeit
frühester Endtermin


Kapazität
Neues Angebot
verplante Aufträge
verplante Angebote
Zeit
maximale Lieferzeit
Spätester Endtermin

Die praktischen Fälle liegen zwischen diesen Extremen. Erfahrungsgemäss wird ein von der Branche abhängiger bestimmter Prozentsatz der Angebote in Bestellungen umgewandelt, der jedoch Schwankungen unterworfen ist". (1)

Dieser Prozentsatz muss durch eine Wahrscheinlichkeitsbetrachtung über die Umwandlung von Angeboten in Aufträge periodisch neu ermittelt werden.

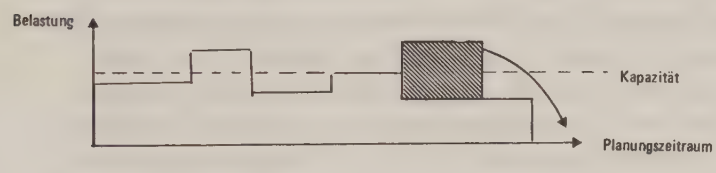
3.4.4 Kapazitätsterminierung

Wie erwähnt, müssen unter Umständen die Schritte Durchlaufterminierung - Auflastung - Belastungsausgleich mehrere Male wiederholt werden, bis ein zufriedenstellendes Resultat eintrifft. Dieser Nachteil von sukzessiv zu koordinierenden Teilplanungen kann durch eine die drei Schritte vereinigende Simultanplanung aufgehoben werden. Eine "Kapazitätsterminierung" ist eine Durchlaufterminierung unter Berücksichtigung der pro Periode und Planstelle verfügbaren Kapazität und deren Belastung durch alle auszuführenden Aufträge. Die Kapazitätsterminierung fasst im Gegensatz zur Durchlaufterminierung die Liegezeit als Variable auf. Wird bei der Terminierung einer bestimmten Operation keine freie Kapazität mehr vorgefunden, so wird diese im Rahmen der verfügbaren Liegezeit zeitlich so weit vorgezogen oder hinausgeschoben, bis eine Einplanung ohne Ueberschreitung der Kapazitätsgrenze möglich ist. Die "verfügbare Liegezeit" wird durch eine Kombination von Vorwärts- und Rückwärtsterminierung ermittelt. Sie ist die Differenz zwischen frühestmöglichen und spätesterlaubten Terminen. Die Kapazitätsterminierung kann für einzelne Auf-

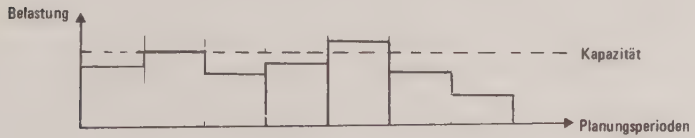
---

(1) Opitz H., Brankamp K., Arlt J., a.a.O., S. 47

träge gemacht werden. Es handelt sich dann darum, einen Auftrag so in das "Belastungsgebirge" einer Planstelle einzufügen, dass gegebene Kapazitätslimiten nicht überschritten werden. Planungsvariablen sind allein die Daten des Auftrages. Diese Variante der Kapazitätsterminierung wird vielfach bei einer sog. Offertsimulation angewendet.



Wird die Kapazitätsterminierung dagegen für alle Aufträge periodisch wiederholt, entsteht das Problem der Einplanungsreihenfolge. "Die Planung wird ja immer von neuem aufgebaut, d.h. man beginnt mit einer Werkstätte ohne Vorbelastungen. Zuerst eingeplante Teile finden deshalb überall freie Kapazitäten vor und können mit einem normalen Durchlauf eingeplant werden, während es gegen Ende der Planung immer schwieriger wird, die notwendigen Kapazitäten zu finden. Das Resultat der Planung hängt von der Einplanungsreihenfolge ab. Man muss nun dafür sorgen, dass jene Aufträge, die keine Streckung ertragen, zuerst eingeplant und dass die als Füllarbeiten verwendbaren Aufträge oder solche Aufträge, bei denen Terminverschiebungen am ehesten zulässig sind, zuletzt eingeplant werden. Es ist also eine Regel vonnöten, welche die Planungsreihenfolge auf zweckmässige Weise festlegt." (1)



(1) Büchel A., a.a.O., S. 90 f.

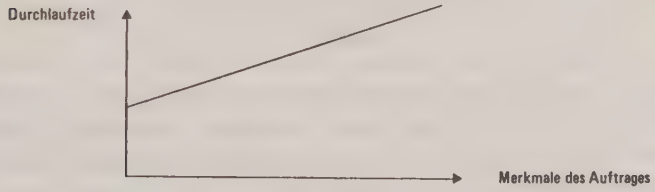
Für die periodische Einplanung aller Aufträge spricht die durch den Arbeitsfortschritt an den einzelnen Aufträgen hervorgerufene Dynamik der Plandaten. Eine Kapazitätsterminierung, die sich auf die Neuzugänge beschränken würde und die einmal errechneten Termine für bereits eingeplante Aufträge unverändert liesse, könnte Aenderungen in der Dringlichkeit einzelner Aufträge (Puffer und Verzug) nicht berücksichtigen. Wo das Aendern von Terminen durch Variation der Liegezeiten zu unbefriedigenden Auftragsterminen führt, müssen nachträglich noch Kapazitätsänderungen oder Entlastungen vorgenommen werden. Das hebt die Vorteile der Simultanplanung unter Umständen auf.

3.5 Methoden der Zeiterfassung

Objekt der Erfassung sind die Auftragsdurchlaufzeit, die Kapazität und die Kapazitätsbelastung der Fertigungsmittel.

Wir unterscheiden zuerst einmal eine "globale" und eine "analytische" Zeiterfassung. Die globale Betrachtungsweise sieht das Objekt der Zeiterfassung als Ganzes. Die analytische untersucht seine einzelnen Teile oder Elemente. Je nach dem, ob von einem Teil auf das Ganze oder vom Ganzen auf einzelne Teile geschlossen wird, sprechen wir von einer "induktiven" oder "deduktiven" Methode der Zeiterfassung.

Eine globale Ermittlung der Auftragszeiten geht von einem Merkmal des Auftrages aus und bringt es in Beziehung zur voraussichtlichen Gesamtdurchlaufzeit.



Es sind z.B. Korrelationen zwischen Auftragswert und Durchlaufzeit oder Bedarfsmenge und Durchlaufzeit möglich. Oder Weinberg (1) erwähnt eine Wechselbeziehung zwischen dem Stücklohn für ein Produkt und der Auftragsdurchlaufzeit: "Trägt man die Durchlaufzeiten für die einzelnen Fabrikate in Funktion ihres Stücklohnes auf, so erhält man ein Streugebiet, das meist mit genügender Genauigkeit durch lineare Regression approximiert werden

---

(1) Weinberg F., a.a.O., S. 14

darf." Somit setzt die Planung der Durchlaufzeit eines Auftrages nicht unbedingt eine Analyse der Operations-, Transport- und Liegezeiten voraus. Dasselbe Vorgehen ist für die Erfassung der Kapazität und der Kapazitätsbelastung möglich. Die Kapazität kann z.B. als Funktion der Mitarbeiterzahl oder der budgetierten Lohnsumme, die Kapazitätsbelastung als Funktion der Auftragsdurchlaufzeit oder des Stücklohnes oder der Bedarfsmenge aufgefasst werden.

Das Wesen der analytischen Ermittlung der Durchlaufzeit besteht im systematischen Durchdenken des Arbeitsvollzuges. So zerlegen z.B. die Kleinstzeitverfahren eine Arbeit in einzelne Bewegungselemente wie Auswählen, Suchen, Loslassen. Für diese Bewegungen werden Standardzeiten ermittelt. Induktiv oder anders ausgedrückt in einem "Zusammensetzverfahren" kann dann aus diesen Elementen die Durchlaufzeit für einen Auftrag "konstruiert" werden.

Die so ermittelte Durchlaufzeit wird häufig als "Vorgabezeit" bezeichnet. Von dieser geplanten Vorgabezeit können aber bei der Planverwirklichung Abweichungen auftreten, weil ja meistens nicht die Standard- oder Normalleistung erbracht wird. Zudem bezieht sich die Vorgabezeit nur auf die Operationszeiten. Die übrigen Elemente der Durchlaufzeit müssen zusätzlich ermittelt werden. Die durch Analyse ermittelten Fertigungszeiten können also lediglich Indikator für die Durchlaufzeiten der Aufträge sein, eine unabhängige Variable zur Ermittlung der Durchlaufzeit. Somit ist dann die Durchlaufzeit mit einer Kombination von Induktion und Deduktion erfasst worden. Die analytische Betrachtung der Durchlaufzeit kann aber auch mit einer rein deduktiven Zeiterfassung kombiniert werden:

Durch das bereits erwähnte Auffinden einer geeigneten Korrelation werden die Operationszeiten als abhängige Variable zu einem Auftragsmerkmal in Beziehung gesetzt. Für die Zuteilung von Transport- und Liegezeiten zu einem Auftrag eignen sich zum Beispiel einfache Regeln wie:

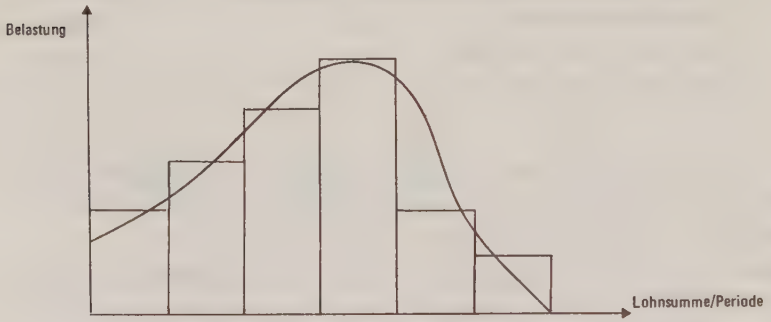
- Materialbereitstellung zu Fertigungsbeginn: 5 Tage
- Operationswechsel innerhalb Abteilung: 1 Tag
- Abteilungswechsel: 5 Tage
- Kontrolle, Einlagerung: 5 Tage

Auch die Kapazität kann global oder analytisch betrachtet werden. Entweder richtet man sich nach der in der Vergangenheit erzielten "praktisch nutzbaren Kapazität", (1) ohne die einzelnen Einflussfaktoren der Leistungsfähigkeit zu analysieren. Oder man fasst die während des Planungszeitraums theoretisch verfügbare Kapazität auf als abhängige Variable der geplanten Betriebszeit. Von ihr zieht man die verschiedenen Ausfälle infolge Wartung, Maschinenstörungen usw. ab, um so auf die praktisch nutzbare Kapazität zu kommen. Sowohl die Rechteckapproximation als auch die Durchlauf- und Belastungskurven verteilen eine globale Kapazitätsinanspruchnahme. Sie verbinden diese Belastung als abhängige Variable mit einer unabhängigen Variablen. Stehen die Lohnkosten für einen Auftrag in einem direkten Zusammenhang mit der Kapazitätsbelastung, so kann die Verteilung der Kapazitätsinanspruchnahme über der Durchlaufzeit aufgefasst werden als Verteilung dieser Lohnsumme über der Durchlaufzeit. Oder man

---

(1) VDI Taschenbücher, T23, Fertigungsterminplanung und -steuerung, Elektronische Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung und -steuerung II, Düsseldorf 1969, S. 105

definiert die Kapazitätsbelastung als Funktion der Arbeitsstunden, die für einen Auftrag aufgewendet werden müssen und die Verteilung der Kapazitätsinanspruchnahme als Verteilung dieser Arbeitsstunden über der Durchlaufzeit. Trägt man die pro Terminperiode für einen Auftrag geleisteten Löhne oder Arbeitsstunden auf einer Zeitachse auf, so erhält man für jeden Auftrag ein spezifisches Bild.



Die erwähnte "Auflastung" dagegen ist das Beispiel für eine analytische Betrachtung der Kapazitätsbelastung, indem die Belastung aus einzelnen Fertigungsoperationen pro Planstelle und Belastungsperiode aufaddiert wird.

Durchlaufzeit, Kapazität und Kapazitätsbelastung sind stochastische Grössen. Mit keiner noch so ausgeklügelten Erfassungsmethode kann vollständige Sicherheit über die Plandaten erzielt werden. Das Terminwesen muss also in jedem Fall mit einem mehr oder weniger grossen Unsicherheitsfaktor rechnen. Es stehen ihm grundsätzlich zwei Mittel zur Verfügung, um damit fertig zu werden:

- Die Verwendung von "Puffern" in der Form von Zwischen- und Endprodukte-Lagern und von Ueberkapazitäten der Fertigungsmittel. Diese Puffer bedeuten Liegezeiten der Werkstücke und Brachzeiten der Maschinen und Arbeitskräfte.

- Die Verbesserung der Methoden und Instrumente der Terminplanung und -steuerung.

Die Wahl eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen den Puffern einerseits und der Planung anderseits muss immer wieder überprüft werden, da sich Kosten und Nutzen in diesem Optimierungsmodell laufend ändern.

3.6 Die Instrumente der Planung und Steuerung

Zum Rahmen einer Planung und Steuerung gehören neben den Planungsmethoden Instrumente wie:

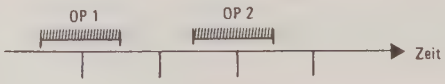
- Balkendiagramme,
- Netzplantechnik,
- Wartezeitmodelle,
- Heuristische Verfahren,
- Simulation,
- Elektronische Datenverarbeitung.

Jedes hat eine spezielle Eignung für die Lösung einer bestimmten Problematik des Terminwesens.

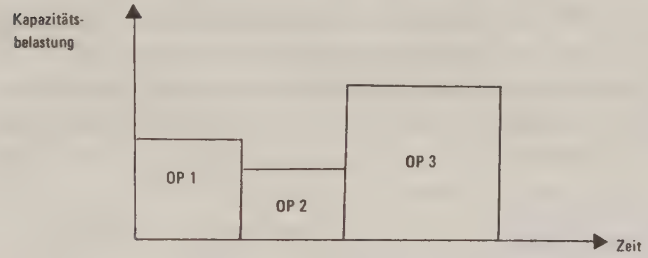
3.6.1 Balkendiagramme

Balkendiagramme sind das klassische Hilfsmittel des Terminwesens. Mit ihrer Hilfe lassen sich sowohl die Reihenfolge der Operationen innerhalb eines Auftrages als auch die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung durch eine Planstelle planen.

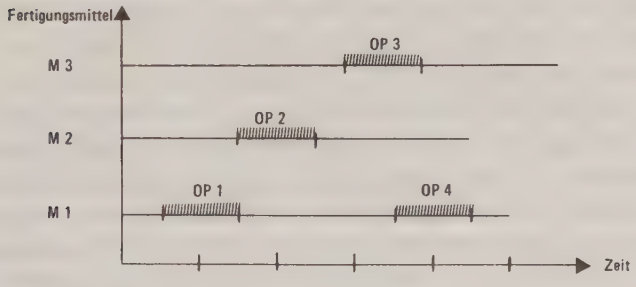
Bei einer Durchlaufterminierung wird die Sequenz der einzelnen Operations- und Uebergangszeiten auf einer Zeitachse dargestellt, deren Einteilung mit dem Betriebskalender übereinstimmt. Die Lage und Länge eines Balkens zeigen, wann eine Tätigkeit beginnt und wie lange sie dauert.



Für eine Belastungsplanung ist eine zweidimensionale Darstellung nötig: Auf der Abszisse wird der Durchlauf der Aufträge als Sequenz der Operations- und Uebergangszeiten dargestellt, auf der Ordinate wird die Belastung aufgezeichnet, entweder als Kapazitätsinanspruchnahme einer einzigen Planstelle



oder in Form von Belegungszeiten verschiedener Planstellen.



Die Tätigkeiten eines einzelnen Auftrages müssen dann solange verschoben werden, bis der Auftrag im Verbund mit andern Aufträgen terminlich realisierbar ist (1).

---

(1) Opitz H., Brankamp K., Arlt J., a.a.O., S. 20

Die Planung mit Balkendiagrammen kann sehr schwierig werden, wenn eine grosse Zahl von Aufträgen gleichzeitig durch viele Planstellen bearbeitet wird. Deshalb werden Balkendiagramme meistens nur für die Grobterminplanung oder für einfache Fertigungsverfahren verwendet.

Mit den Balkendiagrammen verwandt sind die Auftragsterminplanungsblätter, Auftragszerlegungsblätter, Terminblätter oder Terminkarten, die an Plantafeln aufgesteckt oder in Karteien abgelegt werden. Sie sind in erster Linie ein Instrument der Durchlaufterminierung und der Fortschrittskontrolle. Für eine Belastungsplanung eignen sie sich weniger.

3.6.2 Netzplantechnik

Die Netzplantechnik dient hauptsächlich der Planung von komplexen Aufträgen, die wir auch Projekte nennen. Ihre Grundlage bilden die in den 50er Jahren in den USA entworfenen Methoden PERT (Program Evaluation and Review Technique) und CPM (Critical Path Method). Ein wesentliches Merkmal der Netzplantechnik ist die Trennung zwischen der Analyse des Arbeitsablaufes und der Ermittlung von Terminen. Dieser Trennung der Planungstätigkeit entspricht auch die Unterscheidung von "Aktivitäten" und "Ereignissen". Jede Aktivität lässt sich auf einer Zeitachse durch eine Zeitspanne darstellen, die einen bestimmten Anfangs- und Endzeitpunkt hat. Diese Zeitpunkte werden als Ereignisse bezeichnet.

Die Strukturanalyse eines Netzplanes lässt sich unterteilen in eine Aktivitätsanalyse und in eine Analyse der Anordnungsbeziehungen zwischen den einzelnen Aktivitäten.

Bei der Aktivitätsanalyse ist auf eine vollständige Liste sämtlicher Aktivitäten zu achten. "Vollständigkeit" bedeutet nicht Detaillierung, sondern wie in der Einleitung zum Rahmenentscheid erwähnt, Berücksichtigung aller entscheidenden Tatbestände.

Die Analyse der Anordnungsbeziehungen kann entweder von einzelnen Ereignissen oder von einzelnen Aktivitäten ausgehen. Eine ereignisorientierte Betrachtung eignet sich vor allem bei einem Entwicklungsprojekt, wo die einzelnen Etappen der Projektabwicklung geplant werden müssen, ohne dass man die Aktivitäten zu ihrer Erreichung schon genau kennt. Eine aktivitätsorientierte Analyse eignet sich dagegen vor allem für komplexe Wiederholfertigungen. Ein wichtiges Hilfsmittel zur Anordnung von Aktivitäten stellen sog. Meilensteine oder Schlüsselereignisse dar.

Schlüsselereignisse sind mit einem Ecktermin versehen, an ihnen werden einzelne Netze oder Subnetze "aufgehängt". Indem mehrere Stufen von Schlüsselereignissen unterschieden werden, kann ein Netzwerk je nach Informationsbedürfnis in mehr oder weniger detaillierter Form und in grösseren oder kleineren Teilen dargestellt werden. Somit lässt sich der Feinheitsgrad eines Netzwerkes den Erfordernissen jeder Terminplanungsstufe anpassen.

Wegen der Trennung von Strukturanalyse und Zeitanalyse bewährt sich die Netzplantechnik für die Planung und Steuerung einer komplexen Wiederholfertigung, weil die Erstellung der Plannetze "auf Vorrat" unabhängig vom einzelnen Auftrag und seinen Terminen gemacht werden kann. Diese auftragsunabhängige Ermittlung der Plannetze ist keineswegs nur für Standard- oder Massengüterfertigung möglich, wo der Produktaufbau lange Zeit unverändert bleibt. Auch bei Individualgüterfertigung eignet sich der Einsatz von "Standardnetzwerken". Durch Kombination von Standardnetzen für Baugruppen und Teile oder durch Streichen von nicht in Frage kommenden Aktivitäten aus

einem Komplexnetzwerk für Produktgruppen können auftragsunabhängige Netze zu einem Auftragsnetzwerk kombiniert werden. (1)

Die Terminplanung kombiniert Vorwärts- und Rückwärtsterminierung, um frühestmögliche und spätesterlaubte Zeitpunkte zu ermitteln, was dem stochastischen Charakter der Plandaten gut entspricht. Die Ergebnisse der Terminrechnung werden mit dem sog. "Float" beurteilt, der Differenz zwischen spätesterlaubten und frühestmöglichen Terminen. Ein positiver Float weist auf Zeitreserven hin, ein Float von Null oder annähernd Null zeigt bezüglich der Termineinhaltung eine kritsche Lage an, ein negativer Float bedeutet, dass die Termineinhaltung nicht möglich ist. Diese Aussagen können sowohl für einzelne Aktivitäten als auch für das Gesamtnetzwerk gemacht werden. Der Float spielt eine Rolle bei der Beantwortung der Frage nach dem längsten Weg durch ein Netzwerk. Dieser längste Weg bestimmt die Gesamtdurchlaufzeit und wird deshalb auch als kritischer Weg bezeichnet. Die Floats der einzelnen Aktivitäten auf dem kritischen Weg sind Null. Die Berücksichtigung der Tatsache, dass nicht alle Aktivitäten oder Aufträge inneralb einer Unternehmung dieselbe Bedeutung für die Erreichung der Ziele haben, ist ein wesentlicher Vorteil der Netzplantechnik.

Die Länge einer Aktivität und damit ihre Anfangs- und Endzeitpunkte hangen von den Fertigungszeiten ab. In vielen Fällen besteht Unsicherheit über das Ausmass dieser Zeiten, was bei einer Planung mit Balkendiagrammen zu beträchtlichen Schwierigkeiten führen kann. Die Trennung von Struktur- und Zeitanalyse hat den Vorteil, dass bei

---

(1) Ueber die Verwendung von Standardnetzwerken für die Auftragsterminplanung siehe Opitz H., Brankamp K., a.a.O., S. 84 ff.

einer Abweichung der effektiven von den geplanten Fertigungszeiten nicht die ganze Planung neu aufgebaut werden muss, sondern unter Berücksichtigung der Ablaufstruktur können lediglich die Termine neu errechnet werden. Es sind Varianten der Netzplantechnik entworfen worden, die die Unsicherheit zum vornherein berücksichtigen. Die einzelnen Fertigungszeiten werden aufgefasst als eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zwischen einer "optimistischen" und einer "pessimistischen" Zeit. Somit sind auch die einzelnen Anfangs- und Endzeitpunkte wahrscheinlichkeitsverteilt. Macht man nun für den kritischen Weg als Ganzes eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Abweichungen, so kann irgend einem Ereignis auf diesem kritischen Weg ein gewünschter Zeitpunkt zugeordnet und errechnet werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit er eintreffen wird (1). Auch für Fälle, wo nicht nur die Fertigungszeiten stochastisch sind, sondern der ganze Arbeitsablauf (wie dies z.B. bei einem Forschungsprojekt vorkommen kann), wurde eine Lösung entwickelt (2).

Die Netzplantechnik ist in erster Linie ein Instrument der Durchlaufterminierung. Allerdings sind neben Entwicklungen auf dem Gebiet der Kostenplanungen auch Verfahren zu einer Belastungsplanung mit Netzplantechnik entwickelt worden. Bei der Belastungsplanung für einzelne Projekte kann man davon ausgehen, dass für die Dauer der Projektverwirklichung die Fertigungsmittel fest zugeteilt sind. Das Problem einer Belastungsplanung besteht darin, die Gesamt-Beanspruchung dieser Mittel über den Planungszeitraum

---

(1) Buffa E.S., Taubert W.H., Production-Inventory Systems: Planning and Control, Homewood 1972, Rev. Edition, S. 502

(2) Siehe z.B. Völzgen H., Stochastische Netzwerkverfahren und Anwendungen, Berlin etc. 1971

hinweg möglichst gleichmässig zu verteilen, um Ueber- und Unterbelastungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Es ist ein typisches Problem der Belastungs-Grobplanung. Aber auch Probleme der Belastungs-Feinplanung können mit Netzplantechnik angepackt werden, indem man versucht, den durch die frühestmöglichen und spätesterlaubten Anfangs- und Endzeitpunkte der Aktivitäten gegebenen Spielraum so auszunützen, dass knappe Resourcen ohne Gefährdung der Ecktermine den einzelnen Aktivitäten zugeteilt werden. Schliesslich besteht noch die Möglichkeit, solche Probleme nicht isoliert für einzelne Projekte zu lösen, sondern eine Multiprojektplanung und -steuerung vorzunehmen. (1) Die dabei zur Anwendung kommenden Methoden sind eine Kombination von Netzplantechnik und heuristischen Verfahren, wie wir sie in einem späteren Abschnitt beschreiben werden. Für eine Multiprojektterminierung werden wir anschliessend an die tehoretischen Ausführungen ein Beispiel aus der Praxis zeigen.

Die formale Strenge der Netzplantechnik erlaubt eine mechanische Verarbeitung der Plandaten. Die Ergebnisse können entweder mit Hilfe von Graphen oder in Form von Terminlisten dargestellt werden. Die maschinelle Verarbeitung ermöglicht einen relativ kurzen Planungszyklus, weshalb sich die Netzplantechnik vor allem als Instrument der Feinterminplanung und der Arbeitsverteilung anbietet. Durch graduelle Verfeinerung der Plandaten kann sie aber für alle Terminplanungsstufen verwendet werden.

---

(1) Buffa E.S., Taubert W.H., a.a.O., S. 513 ff.

3.6.3 Wartezeitmodelle

Der Produktionsvorgang kann als ein Bedienungsvorgang aufgefasst werden: Ein Produktionssystem besteht aus Einheiten, die bedient werden und aus Einheiten, die bedienen. "Ein Wartezeitproblem tritt dann auf, wenn entweder die Einheiten, die bedient werden, oder die Einrichtungen, die diese Bedienung durchführen sollen, eine Leerzeit durchmachen, das heisst warten." (1) Die Verbindung von Wartezeitmodellen mit Methoden der Terminplanung und -steuerung ist vor allem sinnvoll bei einem stark probabilistischen Charakter der Situationsmerkmale. Balkendiagramme, Netzplantechnik und Lineare Programmierung setzen eben eine Kenntnis über die Aufträge und Fertigungsmittel voraus, die sich in vielen Fällen nicht oder nur mit grosser Mühe erarbeiten lässt. Wartezeitmodelle dagegen fassen den Eingang der Aufträge in das Produktionssystem und die Art und Dauer ihrer Bearbeitung zum vornherein als zufällig auf. Haben wir die Liegezeit bis jetzt ziemlich verschwommen zum Teil als gegebene Grösse, zum Teil als dispositiven Faktor des Terminwesens bezeichnet, bietet die Warteschlangentheorie die Möglichkeit zu einem besseren Verständnis. "Die Grösse der Liegezeit nimmt mit der Grösse der Vorgabezeit zu, jedoch in der Regel eher degressiv. Dies hängt damit zusammen, dass Aufträge mit längerer Vorgabezeit im Durchschnitt kleinere Liegezeiten aufweisen, weil sie grössere Chancen haben, wegen Aufträgen mit kleineren Vorgabezeiten warten zu müssen. Für einen kurzen Auftrag ist das Risiko viel grösser, auf ein Stück mit längerer Vorgabezeit warten zu müssen. Massgebend für die Bestimmung der Liegezeit ist an sich die statistische Verteilung der Vorgabezeiten der Aufträge an der betreffenden

---

(1) Churchman C.W., Ackoff R.L., Arnoff E.L., a.a.O., S. 357

Maschine oder Maschinengruppe. Aus der Warteschlangentheorie ist bekannt, dass unter vergleichbaren Bedingungen die Wartezeiten in der Warteschlange umso grösser sind, je mehr die Servicezeiten (Vorgabezeiten pro Maschine) streuen. Eine Homogenisierung der Operationszeiten pro Maschine wäre deshalb ein wirksames Mittel zur Verkürzung der Liegezeiten." (1) Die Wahrscheinlichkeit, dass Aufträge mit kurzen Fertigungszeiten sich vor einem einzelnen Fertigungsmittel stauen, weil ein Auftrag mit extrem langen Fertigungszeiten bearbeitet wird, ist dann nicht sehr gross. Damit entfällt auch die Notwendigkeit, die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung an den einzelnen Fertigungsmitteln festzulegen. Grosse Unterschiede bei den Fertigungszeiten der einzelnen Aufträge gibt es zum Beispiel wegen stark variierenden Stückzahlen bei den Aufträgen oder der Mischung von Gross- und Kleinstückbearbeitung. Dann stellt sich die Frage nach einer räumlichen Trennung der Bearbeitung von Aufträgen mit kurzen und langen Fertigungszeiten (z.B. Errichtung einer Schnell-Service-Werkstatt neben den üblichen Werkstätten) oder nach der Notwendigkeit einer detaillierten Planung der Reihenfolge der Auftragsabwicklung (geplante Ansteuerung der Planstellen).

Die Anzahl der Bedienungsstellen in einem Produktionssystem und die Bedienungsstrategie, d.h. die Art und Weise, in der die Bedienung vorgenommen wird, muss vom Terminwesen als gegeben hingenommen werden. Eine dominierende Rolle spielt die Warteschlangendisziplin, d.h. die Reihenfolge, in der die Einheiten bedient werden. Diese Reihenfolge wird mit Hilfe von Prioritätsregeln festgelegt, welche die Aufträge nach vorgegebenen Kriterien sortieren, von denen erwartet wird, dass sie die

---

(1) Soom E., Integrierte Produktionsplanung und -steuerung, Bern 1974., S. 132

Zielsetzungen des Terminwesens weitgehend erreichen. Buffa (1) beschreibt eine Studie, wo in 6 Betrieben mit unterschiedlichem Layout und Auslastungsgrad der Fertigungsmittel 10 verschiedene Prioritätsregeln anhand von total 2,4 Mio. Auftragsterminierungen überprüft worden sind. Unter den geprüften Regeln waren:

SOT	Shortest Operation Time first
FCFS	First Come, First Served
SS	Static Slack, d.h. Liefertermin minus Datum der Ankunft an der Planstelle
DS	Dynamic Slack, d.h. Liefertermin minus voraussichtlich noch verbleibende Durchlaufzeit.

Die Auswirkungen der verschiedenen Prioritätsregeln auf die mittlere Durchlaufzeit der Aufträge und deren Standardabweichung in den einzelnen Betrieben wurden errechnet, wobei man zu folgenden Ergebnissen kam: Die Unterschiede zwischen den einzelnen Prioritätsregeln in jedem Betrieb waren sehr signifikant, während die unterschiedlichen Merkmale der Untersuchungsbetriebe nur eine geringe Signifikanz für die Beurteilung der Ergebnisse zeigten. Die SOT-Regel erwies sich bezüglich der Mittelwerte in allen Fällen als die beste, während ihre Standardabweichung in den meisten Fällen relativ hoch war. Das bedeutet, dass für einige Aufträge mit einem relativ grossen Verzug gerechnet werden muss. Durch alternierende Anwendung der SOT-Regel mit einer Regel, die geringe Standardabweichungen ergab; z.B. FCFS, wurde versucht, zu einem Kompromiss zwischen den zwei Zielen zu kommen, was aber sofort zu einer beträchtlichen Verlängerung der mittleren Durch-

---

(1) Buffa E.S., Taubert W.H., a.a.O., S. 401 ff.

laufzeit führte. Dieses Beispiel zeigt die grosse Bedeutung einer klaren Zielsetzung für das Terminwesen. Legt man besonderen Wert auf gute Auslastung der Fertigungsmittel, geringen Planungsaufwand und eine hohe Ausstossrate von Aufträgen pro Planungsperiode, ist die SOT-Regel zu empfehlen; ist aber wegen hohen Konventionalstrafen oder den besonderen Bedürfnissen des Marktes die Termineinhaltung von oberster Wichtigkeit, werden die SS- oder DS-Regel bessere Resultate erbringen. Zu erwähnen ist auch die Bedeutung der getroffenen Annahmen in einem Wartezeitmodell für die Beurteilung seiner Ergebnisse. Ganz allgemein kann man feststellen, dass dynamische Prioritätsregeln den statischen überlegen sind, was das Ausmass der Zielerreichung anbelangt (hohe Auslastung, kurze Durchlaufzeiten usw.), dass sie aber mehr Informationen über Aufträge und Fertigungsmittel voraussetzen. Dynamische Regeln sind solche, die in irgend einer Form auf Merkmale einzelner Aufträge oder einzelner Fertigungsmittel Rücksicht nehmen. Als Beispiel seien Regeln genannt, die die Anzahl Operationen je Auftrag, den "Float" eines Auftrages oder den Auslastungsgrad eines Fertigungsmittels berücksichtigen. Die "Rangfolge" eines Auftrages kann sich jedesmal ändern, wenn ein neuer Auftrag zu den auf die Einplanung wartenden Aufträgen hinzukommt. Bei einer statischen Prioritätsregel behält ein Auftrag jene Rangfolge bei, die er zu Beginn der Planung eingenommen hat. Ein Beispiel für eine statische Prioritätsregel ist "first come, first served". Mehrstufige Prioritätsregeln sind eine Kombination von Primär-, Sekundär- und Teritär-Kriterien, um eine eindeutige Rang folge von Aufträgen zu erhalten.

Prioritätsregeln nehmen in den heuristischen Verfahren eine wichtige Stellung ein, ja man kann die Verwendung von Prioritätsregeln geradezu als ein Wesensmerkmal solcher Verfahren betrachten.

.4 Heuristische Verfahren

Wir haben gesehen, dass sowohl das rein "intuitive" Vorgehen bei der Festlegung der Reihenfolge der Auftragsbearbeitung durch die Fertigungsmittel, wie es etwa bei einem "Planungs-Puzzle" mit Balkendiagrammen zur Anwendung kommt, als auch eine "exakte" mathematisch-wissenschaftliche Methode wie z.B. die lineare Programmierung, leicht an der Komplexität der Problematik scheitern können.

Das Wesen der heuristischen Verfahren besteht darin, nicht in einem ureigenen Bereich nach eigenen Gesetzlichkeiten zu walten, sondern unter Zuhilfenahme aller Hilfsmittel moderner Technik auf meist rein intuitivem Hintergrund schrittweise einen Plan zu finden (1). "Am Anfang der eigentlichen Entwicklung von heuristischen Verfahren steht der kreative Gedanke, die spontane Eingebung, die das Arbeitsprinzip und die Auswahlkriterien des Verfahrens in seinen Grundlagen festlegt. Die Entstehung dieser kreativen Gedanken kann durch systematische Suche unterstützt und beschleunigt werden. Neuere Techniken wie Brainstorming, Synetics und die morphologische Methode .... können diese Ideensuche sehr wirkungsvoll befruchten." (2) Der Ablauf eines solchen Suchprozesses und die Bestandteile, aus denen ein Plan sukzessive aufgebaut wird, wollen wir anhand eines Lösungsvorschlages für das Problem der Bearbeitungsreihenfolge von Aufträgen durch einzelne Fertigungsmittel zeigen (3).

---

(1) Weinberg F., Zehnder C.A., Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Economics, Vol. 13, Heuristische Planungsmethoden, Berlin etc. 1969, S. 3

(2) Müller - Merbach H., Operations Research, Methoden und Modelle der Optimalplanung, 3. Aufl., München 1973, S. 290

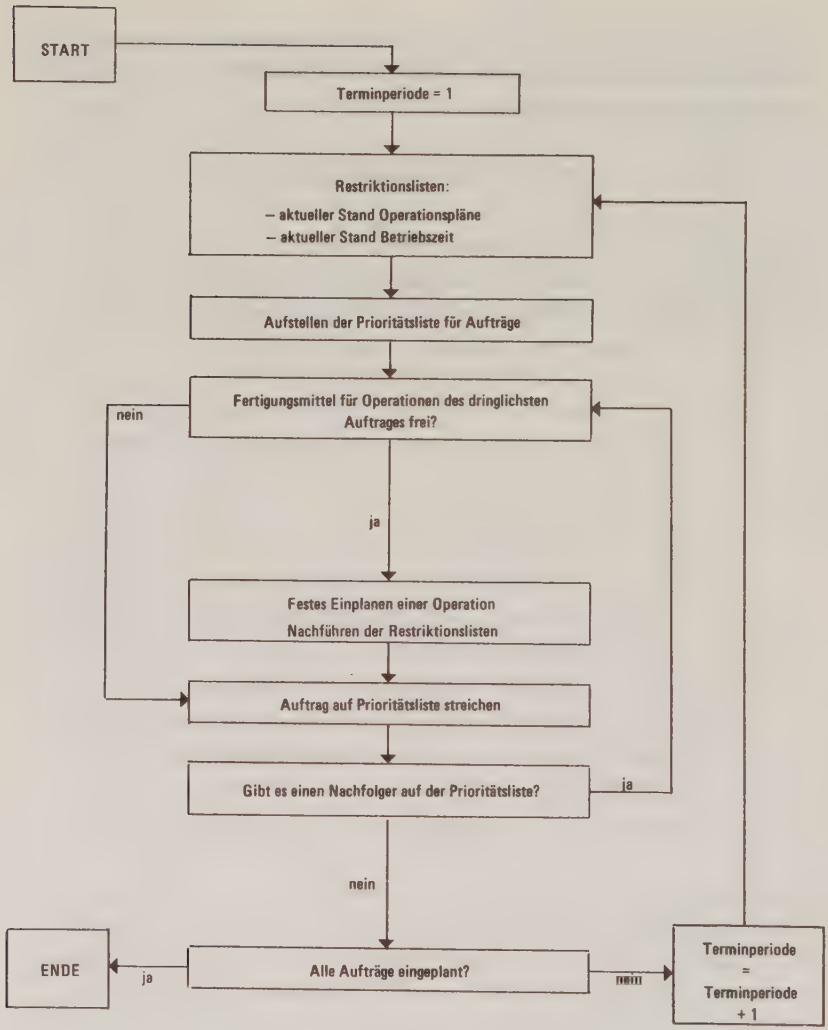
(3) Siehe dazu Weinberg F., Zehnder C.A., a.a.O., S. 16 ff. und S. 39 ff.

Die Ausgangslage besteht darin, dass wir eine bestimmte Anzahl von Aufträgen haben, die auf bestimmten Fertigungsmitteln innerhalb eines Planungszeitraumes gefertigt werden sollen. Zuordnungsgrössen des Planes sind somit Terminperioden, Aufträge und Fertigungsmittel. Eine Haupt-Zuteilungsreihenfolge ergibt sich für die einzelnen Terminperioden von selbst, indem die Terminperiode n zuerst, die Periode n + 1 nachher usw. verplant wird. Für die Aufträge muss eine Prioritätsliste festgelegt werden, wobei die Qualität des Planes wesentlich von der Qualität der Prioritätskriterien abhangen wird. Bei den Fertigungsmitteln nehmen wir an, dass für eine Operation mehrere Fertigungsmittel in Frage kommen können, dass sich aber jedes dieser Fertigungsmittel in gleicher Weise für die Ausführung der Operationen eignet. Es wird also einfach das zuerst freiwerdende Fertigungsmittel mit einem Auftrag belegt. Als Planelement definieren wir eine Begriffskombination von Terminperiode, Auftrag und Fertigungsmittel, die als festes Element in einen Plan eingesetzt wird. Es ist in unserem Falle eine Operation, die als Bestandteil eines Auftrages innerhalb einer bestimmten Terminperiode auf einen bestimmten Fertigungsmittel bearbeitet werden muss. Die Planelemente sind Restriktionen unterworfen, die in unserem Fall darin bestehen, dass innerhalb einer Terminperiode nur eine Operation eines Auftrages bearbeitet wird, dass ein Operationsplan die Zuordnung zu den Fertigungsmitteln, die Fertigungszeit und die Reihenfolge der Operationen eines Auftrages festlegt und dass die Fertigungsmittel eine bestimmte Betriebszeit innerhalb der Terminperiode haben. Diese Restriktionen bestimmen einen "zulässigen" Plan, während Gütekriterien wie z.B. minimale Durchlaufzeit, minimaler Verzug oder maximale Auslastung einen "guten" Plan definieren als zulässigen Plan, der den Gütekriterien weitgehend entspricht.

Das Planungsproblem besteht nun darin, eine bestmögliche Kombination der Planelemente unter Berücksichtigung der aufgestellten Restriktionen zu finden.

Dafür bedienen wir uns eines Zuweisungsmechanismus.

Ausgangslage ist eine bereits aufgebaute Teillösung, die durch das Hinzufügen von weiteren Planelementen, also Operationen, vervollständigt wird. Wie dabei vorgegangen werden kann, zeigt das folgende Ablaufdiagramm.


START
Terminperiode = 1
Restriktionslisten:
– aktueller Stand Operationspläne
– aktueller Stand Betriebszeit
Aufstellen der Prioritätsliste für Aufträge
Fertigungsmittel für Operationen des dringlichsten Auftrages frei?
nein
ja
Festes Einplanen einer Operation
Nachführen der Restriktionslisten
Auftrag auf Prioritätsliste streichen
Gibt es einen Nachfolger auf der Prioritätsliste?
ja
nein
ENDE
ja
Alle Aufträge eingeplant?
nein
Terminperiode = Terminperiode + 1

Das Resultat der Zuweisungen ist ein Belegungsplan, der für die einzelnen Fertigungsmittel zeigt, in welcher Periode und Reihenfolge Aufträge bearbeitet werden.

Das gezeigte Verfahren zur Lösung der Bearbeitungsreihenfolge von Aufträgen ist erst in Umrissen vorhanden, es ist noch nicht sicher, ob es eine tragfähige Basis für eine Verwirklichung ist oder nicht. "Die Idee zu einem Verfahren ist zwar eine conditio sine qua non; jedoch ist sie nicht das Wesentliche des Verfahrens. Die Idee steht am Anfang der Verfahrensentwicklung. Ein Verfahren ist aber erst dann fertig, nachdem es erstens in allen Details durchdacht und lückenlos formuliert ist und zweitens seine typischen Eigenarten an kleinen, manuell gelösten und grossen, gegebenenfalls elektronisch gelösten Zahlenbeispielen erforscht sind, d.h. nachdem Erfahrung bezüglich der Güte der Lösungen und der erforderliche Rechenzeit vorliegt." (1)

Heuristische Verfahren eignen sich gut für eine maschinelle Planung. Es gibt eine ganze Reihe von Computerprogrammen, die die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung mit Hilfe solcher Verfahren planen. Die Rechen- und Speicher-Kapazität moderner Computer gibt dem Planer die Möglichkeit, sich nicht einfach mit einem zulässigen Plan zu begnügen, sondern einen solchen als Ausgangslösung in einem suboptimierenden Iterationsverfahren (1) schrittweise zu verbessern. Das Herantasten an eine suboptimale Lösung kann dabei unter Zuhilfenahme einer Kombination von verschiedenen Zuweisungsmechanismen erfolgen. Auf diese Weise gelangt man zu einem der Simulation ähnlichen Vorgehen, das wir im nächsten Abschnitt betrachten wollen.

---

(1) Müller - Merbach H., a.a.O., S. 291 f

3.6.5 Simulation

Als allen Simulationen gemeinsames Merkmal bezeichnet Koxholt (1) das Prinzip der Nachahmung. Objekte der Simulation sind "irgendwelche komplexen Systeme körperlicher und gedanklicher Art, die nach bestimmten logischen Regeln und Gestzmässigkeiten funktionieren. Das Problem besteht normalerweise darin, herauszufinden, wie sich ein gegebenes System unter bestimmten Bedingungen verhält oder welche Bedingungen für ein gefordertes Verhalten notwendig sind, oder wie ein System aufgebaut sein muss, damit es bestimmte Funktionen erfüllen kann, bzw. damit bestimmte Prozesse in ihm ablaufen können." (2)

Die Simulation tritt nicht an die Stelle eines bestimmten Planungsverfahrens, denn "die Nachahmung selbst liefert ..... grundsätzlich keine neuen Ergebnisse, sie erschliesst nur neue Möglichkeiten und Wege, zu einem noch unbekannten Ergebnis zu gelangen ..... Sie ist im Anwendungsfall lediglich neben einem bestimmten (meist heuristischen) Lösungsverfahren Bestandteil eines Lösungsweges." (3)

Für die Simulation eines Terminsystems sprechen die folgenden Gründe:

- Ein Ausprobieren in der Wirklichkeit kann zu unerwünschten Konsequenzen eines Entscheides führen, die nicht mehr rückgängig gemacht werden können, (z.B. Liefertermin-Ueberschreitungen, Kapazitätsengpässe, schlechte Auslastung).

---

(1) Koxholt R., Die Simulation - ein Hilfsmittel der Unternehmungsforschung, München etc. 1967

(2) a.a.O., S. 29

(3) a.a.O., S. 12/13

- Eine formal-mathematische Lösung von Terminproblemen scheitert i.R. an der Komplexität des Terminsystems.

- Durch das "Durchspielen" hypothetischer Fälle lassen sich verschiedene Varianten und deren Konsequenzen aufzeigen. Die Simulation zeigt nicht die optimale Lösung, "wohl aber können bei einer genügend grossen Anzahl von Experimenten suboptimale Lösungen in der Nähe des günstigsten Punktes erhalten werden." (1)

Hauptproblem bei der Anwendung eines Simulationsverfahrens ist die wirklichkeitsadäquate Nachahmung des Simulationsobjektes, d.h. das Erfassen aller für die Lösung eines bestimmten Problems wichtigen Merkmale. Dazu gehören die Abbildungen der Planstellen, des Planungszeitraumes, der Merkmale der Fertigungsaufträge und der Merkmale der Fertigungsmittel in einem "physischen Modell". Der Prozess, der aufgrund von Entscheidungsregeln innerhalb des physischen Modells abläuft (bei den heuristischen Verfahren haben wir von einem Zuweisungsmechanismus gesprochen), wird in einem "logischen Modell" dargestellt. Schliesslich muss vor jeder Simulation der Ausgangszustand des Systems und die Entwicklung der Plandaten für den zu simulierenden Planungszeitraum festgelegt werden. Bei der Festlegung der Plandaten kann der stochastische Charakter eines Systems der Terminplanung und Terminsteuerung berücksichtigt werden. Ein solches System besteht eigentlich aus einer grösseren oder kleineren Anzahl von Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Mathematische Lösungen sind in solchen Fällen entweder nicht möglich oder nicht praktisch. Das Wesen der sog. Monte-Carlo-Simulation besteht

---

(1) Fehr a.a.O., S. 41

in "der Simulation eines Experimentes, das den Zweck hat, irgend eine wahrscheinlichkeitstheoretische Eigenschaft einer Gesamtheit von Gegenständen oder Ereignissen durch die Anwendung der Zufalls-Stichprobe auf die Komponenten dieser Gegenstände oder Ereignisse zu bestimmen." (1)

Die Simulation kann als Hilfsmittel für die Ueberprüfung des Rahmenentscheides und für den Feinentscheid eingesetzt werden. Ein Beispiel für die Beurteilung des Rahmenentscheides mit Hilfe der Simulation ist die Untersuchung des Einflusses verschieden langer Termineinheiten auf die Durchlaufzeit der Aufträge und die Auslastung der Fertigungsmittel. Im Rahmen des Feinentscheides sei auf die bereits erwähnte Mitwirkung der Simulation in einem heuristischen Verfahren oder auf die erwähnte Planungstafel als sehr primitives Hilfsmittel einer Simulation hingewiesen. Das Wesen der Simulation als eine Nachahmung, ein Modell der Wirklichkeit, kommt besonders gut bei der Abbildung von kontinuierlichen Fertigungsprozessen, etwa in Erdölraffinierien oder petrochemischen Werken zum Ausdruck, wobei dann z.B. Anlieferungstermine für Rohstoffe und Ablieferungstermine für Endprodukte festgelegt werden.

---

(1) Churchman C.W., Ackoff R.L., Arnoff C.L., a.a.O., S. 167

3.6.6 Elektronische Datenverarbeitung

Die Probleme einer "herkömmlichen" Terminplanung und -steuerung liegen

- bei der stufenweisen Verfeinerung der Pläne von einem Grob-Ablaufplan für Aufträge bis zu einem Arbeitsprogramm für die auftragsbearbeitenden Stellen,
- beim Einsatz von verschiedenen Methoden und Instrumenten der Planung und Steuerung für einzelne Planungsstufen und Kategorien von Aufträgen,
- bei der Notwendigkeit von sukzessiv zu koordinierenden Teilplanungen innerhalb einer Terminplanungsstufe, indem z.B. einer Durchlaufterminierung eine Auflastung und schliesslich ein Belastungsausgleich folgt, wobei diese drei Schritte unter Umständen mehrfach wiederholt werden müssen,
- bei der wegen dem Fortschritt in der Auftragsbearbeitung notwendigen laufenden Ueberarbeitung der Pläne, wobei aber einem kurzen Planungsintervall die langen Verarbeitungszeiten der Plandaten gegenüberstehen,
- bei der anfallenden Menge von zu verarbeitenden Plandaten für eine detaillierte Planung,
- bei der Koordination der vielen Stellen, die sich mit der Erfassung und Verarbeitung der Plandaten befassen,
- bei der bedürfnisgerechten Ausgabe der Plandaten an die verschiedenen an der Auftragsbearbeitung beteiligten Stellen und Hierarchiestufen.

Aus diesem Problemkatalog ergibt sich die Forderung nach einer Planung und Steuerung,

- die Grob- durch Feinpläne ablöst, ohne dass die Planung deswegen von Grund auf erneuert werden muss,
- die für alle Planungsstufen und Auftragskategorien dieselbe Methode der Planung und Steuerung anwendet,
- die eine simultane Verarbeitung der Daten sowohl für die Auftragsterminierung als auch für die Belastungsplanung erlaubt,
- die die Wiederholhäufigkeit in der Fertigung zur Reduktion des Planungsaufwandes ausnützt,
- die eine saubere Trennung zwischen Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe der Plandaten ermöglicht, die Notwendigkeit von verschiedenen, die Plandaten verarbeitenden Stellen aufhebt und eine sinnvolle Zusammenarbeit bei der Eingabe und ein an den Bedürfnissen gemessene Beteiligung an der Ausgabe von Plandaten ermöglicht.

Ein solches "System" der Terminplanung und -steuerung lässt sich unter Verwendung von Erkenntnissen aus der Kybernetik konstruieren und durch den Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung in die Wirklichkeit umsetzen.

Ein System ist jede Ansammlung von miteinander in Beziehung stehender Teile (1). Man kann sich das Terminwesen

---

(1) Beer S., Kybernetik und Management, Hamburg 1967, S. 24

als ein Aggregat von Einzelteilen vorstellen: Aufträge mit Bedarfsmengen, Bedarfszeitpunkten und Fertigungszeiten, Fertigungsmittel mit bestimmter Kapazität und Belastung, Terminperioden, Betriebskalender usw. Zu verstehen beginnt man es aber erst, wenn man die dynamische Wechselwirkung zwischen diesen Teilen untersucht. Wir haben diese Wechselwirkung als ein Ergebnis eines Entscheidungsprozesses dargestellt. Dabei treten vor allem zwei Schwierigkeiten auf: Die Komplexität und die Unsicherheit. Komplexität kann umschrieben werden als "Zahl diskreter Elemente in einem System", als "Varietät" eines Systems (1). Es gibt einfache und komplexe System, das Terminwesen gehört in der Regel zu den komplexen. Die Wechselwirkung zwischen seinen Teilen ist so, dass diese nicht in vollständig voraussagbarer Weise aufeinander einwirken. Das bedeutet, dass der Folgezustand eines Systems nicht aufgrund des momentanen Zustandes determiniert ist, sich aber innerhalb bestimmter Grenzen von Wahrscheinlichkeiten voraussagen lässt. Deshalb ist das Terminwesen ein probabilistisches System. Obwohl das Operational Research komplexe probabilistische Systeme betrachtet, können Komplexität und Unsicherheit so gross werden, dass auch diese Methoden die möglichen Varianten nicht mehr oder nur mit sehr grossem Aufwand beherrschen. Das Prinzip der "Rückkoppelung", des "feedback" gehört dann zu den Notwendigkeiten einer Planung und Steuerung. Die vom System tatsächlich erzielten Resultate werden laufend mit geplanten Sollwerten verglichen, wobei Abweichungen eine Korrektur des Planes veranlassen. Dieser Vergleich, der Zeitbedarf für die Planrevision und die oft sehr geringe Reaktionsgeschwindigkeit von korrigierenden Massnahmen stellen eine "herkömmliche" Planung und Steuerung vor sehr schwer zu lösende Probleme. Abweichungen können

---

(1) Beer S., a.a.O., S. 61

deshalb von einem "Regler" nur innerhalb gewisser Grenzen ausgeglichen werden. Werden diese überschritten, so muss ein übergelagerter Regelkreis in Aktion treten. Eine solche Hierarchie von Regelkreisen, die ineinander übergreifen, sind z.B. Arbeiter - Meister - Feinterminstelle - Grobterminstelle - Geschäftsleitung. Der Arbeiter muss einzelne Operationen an einem Werkstück zu einem bestimmten Termin ausführen. Der Meister ist für die Realisierung eines Arbeitsprogrammes mit den ihm unterstellten Kapazitäten verantwortlich. Die Feinterminstelle überwacht die Beschaffung, Fertigung und Montage der Teile und Baugruppen eines Produktes. Die Grobterminstelle kontrolliert die Ecktermine der Auftragsabwicklung, insbesondere die Einhaltung des Liefertermins. Die Geschäftsleitung ist verantwortlich für die Wirtschaftlichkeit und Marktkonformität der gesamten Auftragsabwicklung.

Die Hierarchie der Regelkreise und das damit verbundene "Management by Exception" erlaubt eine weitgehende Mechanisierung von Routineentscheiden der Terminplanung und -steuerung. Computerprogramme als Lösungsweg für ein bestimmtes Problem sind naturgemäss nur in der Lage, Einzelentscheide aufgrund einer einmal festgelegten generellen Regelung zu treffen. Voraussetzung für die Mechanisierung eines bestimmten Entscheidungsvorganges ist also eine gewisse Wiederholhäufigkeit, weil aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auf die Programmierung von an sich logisch fassbaren Tatbeständen verzichtet werden muss, die nicht häufig auftreten. Weder Massenfertigung noch reine Individualgüterfertigung scheinen deshalb die Voraussetzungen für eine Mechanisierung des Terminwesens zu bieten.
Neben der Widerholhäufigkeit von Entscheiden ist das zu bewältigenden Datenvolumen abhängig von der Zahl der einzelnen Elemente in einem System (zum Beispiel Anzahl Produkte, Zahl der Planstellen, Anzahl der Operationen pro

Auftrag). Der oft komplizierte Auftragsablauf macht eine Werkstattfertigung eher zum "Kandidaten" für eine Computerplanung und -steuerung als eine Reihenfertigung. Im Zusammenhang mit dem Datenvolumen steht die notwendige Verarbeitungsgeschwindigkeit. Die damit zusammenhängenden Probleme der Verarbeitung stellen die "herkömmliche" Planung und Steuerung einer Werkstattfertigung oder eines Projektes vor gewaltige Probleme. Mit zunehmender Ungewissheit steigt das Bedürfnis entweder nach Leistungs- und Zeitreserven oder nach einer Planung, die möglichst frühzeitig und schnell auf Störungen reagiert. Im Abbau von Lagern und der Reduktion von Liegezeiten liegt der grösste messbare Erfolg eines modernen Systems der Terminplanung und -steuerung. Die Ungewissheit und damit das Bedürfnis nach "aktuellen" Plänen ist allerdings bei einer Bestellfertigung meistens grösser als bei einer Programmfertigung. Schliesslich sind gewisse Methoden wie etwa Netzplantechnik oder Simulation erst durch den Einsatz von Computern möglich geworden und haben zu einer wirkungsvolleren Erledigung der Planungs-Aufgaben geführt.

4. FEINENTSCHEID

Wir haben als Gegenstand des Rahmenentscheides die Wahl des Vorgehens bei der Planung und Steuerung und der dafür benötigten Hilfsmittel bezeichnet. Innerhalb des dadurch geschaffenen "Rahmens" wird nun die eigentliche Aufgabe des Terminwesens, nämlich die Auftragsterminierung und die Belastungsplanung der Fertigungsmittel, abgewickelt. Die in diesem Zusammenhang zu fällenden Entscheidungen wollen wir unter dem Begriff "Feinentscheid" zusammenfassen.

Der Feinentscheid wird geprägt von dem im Kapitel über die Ziele der Terminplanung und -steuerung beschriebenen Dilemma der Ablaufplanung. Weil eine möglichst kurze Durchlaufzeit der Aufträge und eine gute Auslastung der Fertigungsmittel als gleichgewichtige Ziele nebeneinander stehen müssen zwei Reihenfolgeprobleme miteinander in Beziehung gebracht werden:

1. Reihenfolge der Operationen innerhalb eines Auftrages
   (Reihenfolgeproblem I)

   und

2. Reihenfolge der Auftragsbearbeitung durch eine Planstelle
   (Reihenfolgeproblem II)

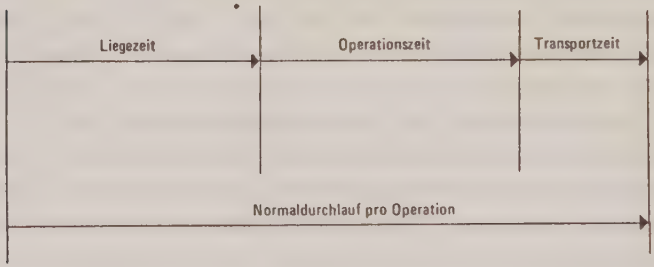
Die beiden Probleme stellen aber immer die zwei Seiten ein und derselben Medaille dar. Die Auftragsterminierung scheint sich in vielen Fällen eigentlich nur mit dem Reihenfolgeproblem I zu befassen. Ihre Komplexität ist dann allein von der Zahl der verwendeten Planstellen abhängig. Ihre Ergebnisse können aber durch die Belastungssituation der Fertigungsmittel über den Haufen geworfen werden. Eine solche Situation ergibt sich aus der Art und Weise, wie das Reihenfolgeproblem II gelöst wird. Ist eine Terminplanung und -steuerung statisch, so fügt sie der Gesamtheit von bereits eingeplanten Aufträgen einen oder mehrere neu zu planende hinzu. Sie braucht dabei zumindest den Liefertermin und bei Mehrstellenplanung auch Zwischentermine dieser Aufträge. Ist sie dynamisch, so legt sie die Reihenfolge sämtlicher, innerhalb einer Periode zu verarbeitenden Aufträge immer wieder neu fest. Damit verändert sie aber nicht nur die Belastungssituation der Fertigungsmittel, sondern unter Umständen auch die bisherigen Auftragstermine. Die Berücksichtigung dieser Termine kann je nach Anzahl der pro Planungszeitraum zu erledigenden Aufträge mehr oder weniger aufwendig sein. Die Terminplanung und -steuerung setzt also in gleichem Masse eine Lösung des Reihenfolgeproblems I voraus, wie es diese durch die Reihenfolge II wieder in Frage stellt. Deshalb kann es eine Lösung des Problems I ohne Berücksichtigung des Problems II und umgekehrt nicht geben. Darum müssten eigentlich alle Variablen der Planung und Steuerung gleichzeitig festgelegt werden. Dies ist aber in der Praxis meistens nicht möglich. Bestimmte Variablen werden von einer Terminplanungsstufe mehr oder ausschliesslich, andere weniger oder gar nicht beachtet. Das hat zur Folge, dass die vor- oder nachgelagerten Stufen sich umso mehr mit den "vernachlässigten" Variablen befassen müssen.

Diese Variablen lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen: Variablen der Ablaufplanung und Variablen des Belastungsausgleichs.

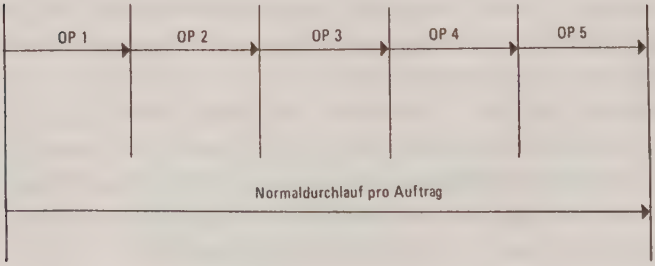
4.1 Variablen der Ablaufplanung: Normal-Durchlauf, überlappter Durchlauf, geteilter Durchlauf

Die Auftragsdurchlaufzeit ergibt sich durch die Art und Weise, wie die einzelnen Operationen gegenseitig angeordnet werden.

Als eine "normale" Anordnung der Fertigungszeiten zu einem "Normaldurchlauf pro Operation" können wir betrachten:



Die einzelnen Operationen wiederum können zu einem "Normaldurchlauf pro Auftrag" angeordnet werden:



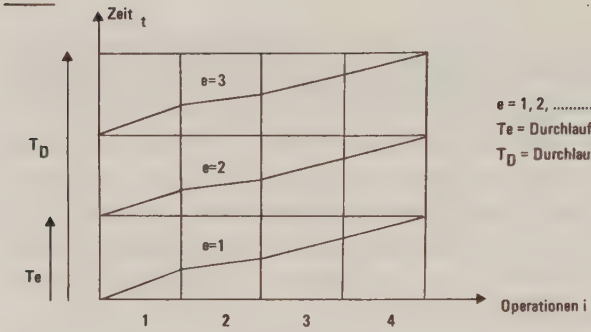
Nun wird aber in der Regel pro Auftrag eine kleinere oder grössere Stückzahl hergestellt. Es besteht dann die Möglichkeit, vom "Normaldurchlauf" abzuweichen, indem man einzelne Operationen "überlappt", d.h. mit der Operation 2 beginnt, bevor die Operation 1 für sämtliche Stücke abgeschlossen ist, oder aufteilt ("splittet"), d.h. für die Durchführung einer Operation mehrere gleichartige Fertigungsmittel vorsieht. Wir müssen das Problem der Anordnung der Operationen dann statt eindimensional zweidimensional anschauen: Einerseits den Fertigungsfortschritt am einzelnen Stück, anderseits die Fertigungsmittelbelegung durch die verschiedenen Stücke eines Auftrages. Dolezalek (1) unterscheidet drei typische Anordnungen der Operationen bei Aufträgen mit mehreren Stücken:

Typ 1: Ununterbrochene Folge aller Operationen an einem Stück. Ein Stück wird vollständig bearbeitet, bevor mit dem nächsten Stück begonnen wird. Das einzelne Stück hat eine kurze Fertigungsdurchlaufzeit. Dagegen ist bei grosser Stückzahl die Gesamtdurchlaufzeit des Auftrages lang wegen der geringen Mengenleistung je Zeiteinheit. Wenn jedes Fertigungsmittel für die Dauer der Auftragsdurchlaufzeit mit dem Auftrag belegt bleibt, ergibt sich eine schlechte Gesamtauslastung. Dieser eher ungünstige Anordnungstyp kann aus technologischen Gründen (z.B. Erkalten eines Werkstückes) oder wegen den Massen oder Gewichten der Stücke in Frage kommen.

---

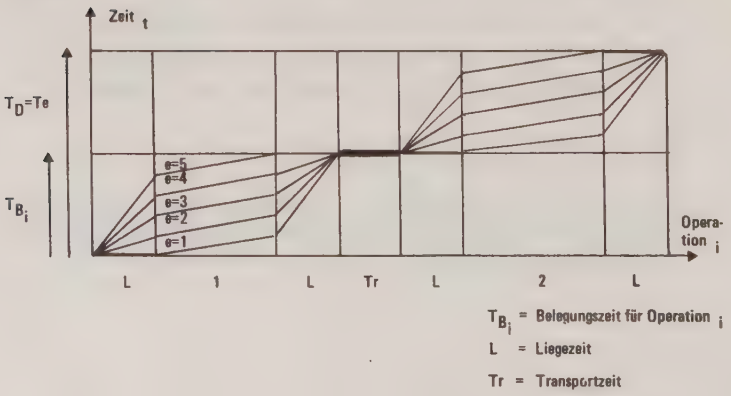
(1) Dolezalek C.M., Ropohl G., Ansätze zu einer produktionswissenschaftlichen Systematik der industriellen Fertigung, in VDI Zeitschrift, Band 109 - 1967, S. 636 - 640, S. 715 - 721

TYP 1:



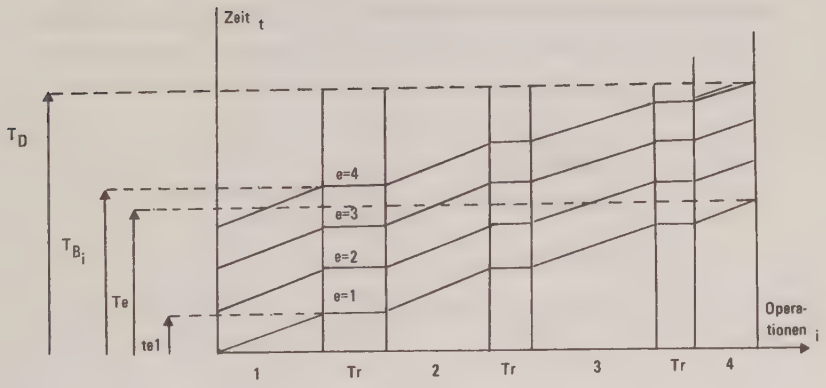
Typ 2: Ununterbrochene Folge einer Operation an allen Stücken. An allen Stücken eines Auftrages wird eine bestimmte Operation ausgeführt, bevor mit der nächsten Operation begonnen wird. Die Fertigungsdurchlaufzeit des einzelnen Stücks entspricht der Gesamtdurchlaufzeit des Auftrages, d.h. sie steht in direktem Verhältnis zur Stückzahl des Auftrages. Für das einzelne Stück ergeben sich Liegezeiten vor den Fertigungsmitteln. Weil mit der Bearbeitung des letzten Stücks eines Auftrags das einzelne Fertigungsmittel für einen andern Auftrag frei wird, sind die Belegungszeiten der Fertigungsmittel kurz und die Gesamtlauslastung gut.

TYP 2:



Typ 3: Ununterbrochene Folge aller Operationen an allen Stücken. Die einzelnen Operationen, die zu einem Auftrag gehören, werden gleichzeitig an den verschiedenen Stücken vorgenommen. Sowohl die Liegezeiten des einzelnen Werkstücks wie auch die Belegung der Fertigungsmittel durch die Aufträge werden minimalisiert. Bei Artaufstellung der Fertigungsmittel stellt diese Anordnung der Operationen sehr grosse Anforderungen an die Terminplanung und Terminsteuerung. Bei Zweckaufstellung kann die gegenseitige Abstimmung der Fertigungsmittel (line balancing) bis zu höchster Perfektion in der sogenannten Taktfertigung vorangetrieben werden.

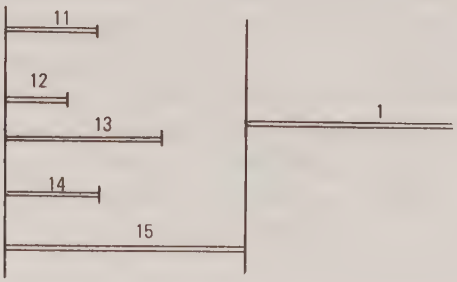
TYP 3:



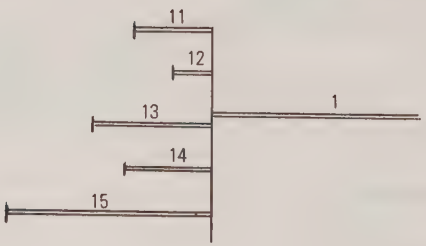
T_{B_i} Belegungszeit für Operation i

Wir haben festgestellt, dass bei einem komplexen Produktaufbau der Auftrag zur Herstellung eines Produktes eine ganze Reihe von Beschaffungsaufträgen, Teilefertigungsaufträgen und Montageaufträgen auslösen kann. Ein Produktauftrag tritt dann lediglich als Oberbegriff vor diese Aufträge, er "löst diese Aufträge ab". Das Wichtigste Hilfsmittel für die Verknüpfung der Aufträge stellt neben dem Lager der Termin dar. Die einzelnen Aufträge müssen so "ineinander laufen", dass technologische Restriktionen eingehalten werden und die Gesamtdurchlaufzeit des Produktauftrages möglichst kurz bleibt. Zwischen den einzelnen Teilaufträgen gibt es somit im Prinzip genau dasselbe Reihenfolgeproblem wie zwischen den einzelnen Operationen eines Auftrags, wobei das Problem der Ueberlappung noch grössere Bedeutung hat als dort.

Die Abstimmung der Bedarfstermine kann im Extremfall so



oder so erfolgen:



Im ersten Fall übernehmen Lager die Funktion eines Puffers zwischen den einzelnen Aufträgen, ihre Bedarfszeitpunkte müssen dann nicht durch planerische Massnahmen exakt aufeinander abgestimmt werden. "Kritisch" sind lediglich die Aufträge 15 und 1, weil hier Verzögerungen zu einer Verlängerung der Gesamtdurchlaufzeit führen. Der zweite Fall erfordert dagegen eine viel grössere Anstrengung zur Einhaltung des Endtermins, weil die Termine aller Teilaufträge "kritisch" sind. Der Vorteil dieser Lösung gegenüber dem Fall 1 liegt aber in der geringeren Kapitalbindung in Lagern und in der grösseren Flexibilität der Fertigung, indem länger als im Fall 1 auf Aenderungswünsche des Kunden oder der Fabrikationsabteilungen eingegangen werden kann. Diese Art der Verknüpfung von Teilaufträgen findet man deshalb vor allem bei einmaliger oder erstmaliger Fertigung. Meistens aber werden die geplanten Termine irgendwo zwischen den frühestmöglichen und den spätesterlaubten liegen.

4.2 Variablen des Belastungsausgleichs: Kapazitätsänderungen, Entlastungen, Terminverschiebungen

Das zentrale Problem des Feinentscheides besteht im Ausgleich von Ungleichheiten zwischen der Kapazität der Fertigungsmittel und ihrer Belastung durch die Aufträge. In Anlehnung an Büchel (1) unterscheiden wir 3 Gruppen von Ausgleichsmassnahmen:

- Anordnen von Kapazitätsänderungen:

  In einem System von sukzessiv zu koordinierenden Teilplanungen sind Entscheide über Investitionen den Entscheiden im Terminwesen vorgelagert und müssen von diesem als Konstanten hingenommen werden. Aktionsparameter des Terminwesens ist allein die Betriebszeit der Fertigungsmittel. Ausgehend von einer "Normal-Betriebszeit" können Ueberzeit- oder Schichtarbeit oder Arbeitszeitverkürzungen vorgesehen werden.

- Vornahme von Entlastungen:

  Entlastungen bringen Auswärtsvergebung von Aufträgen (subcontracting), Verlagerung von Aufträgen in andere Betriebe der eigenen Unternehmung oder Reduktionen von Losgrössen. Letzteres verschiebt die Belastung in zukünftige Perioden und ist nur dort möglich, wo die Bedarfsmengen disponiert oder mit einem Produktionsprogramm bestimmt werden. Reine Bestellfertigung schliesst die Reduktion von Bedarfsmengen aus.

---

(1) Büchel A., a.a.O., S. 57

- Aendern von Terminen:

  Durch Vorziehen oder Verschieben einzelner Operationen können Belastungsspitzen oder -lücken ausgeglichen werden. Dabei treten drei Probleme auf:

  1. Die Ergebnisse von vorgelagertern Planungsstufen werden in Frage gestellt, indem z.B. der Liefertermin oder Ecktermine der Grobplanung von der Feinplanung nicht eingehalten werden.

  2. Der terminliche Zusammenhang zwischen einzelnen Aufträgen führt zu Terminverschiebungen, die sich als Konsequenz einer andern Verschiebung ergeben. So muss z.B. der Bedarfszeitpunkt der Teilefertigungs-Aufträge vorverlegt werden, wenn der Montagebeginn der Baugruppe früher angesetzt wird.

  3. Als Folge der Terminänderungen bei einzelnen Aufträgen können Ueber- oder Unterbelastungen in Planstellen auftreten, die vor dem Belastungsausgleich nicht kritisch gewesen sind.

Die Problematik der einzelnen Ausgleichsmassnahmen führen zum Grundsatz, dass so wenig Ausgleichsmassnahmen wie möglich so spät als möglich vorgenommen werden sollen. Eine als Teil des Rahmenentscheids entwickelte Ausgleichsstrategie leistet einen wesentlichen Beitrag zur Verwirklichung dieser Maxime und zur Mechanisierung des Feinentscheids. Sie sollte die Lösung der folgenden Fragen erleichtern:

- Wann muss ein Ausgleich vorgenommen werden? Bei der Beantwortung dieser Frage spielt das Ausmass der Unsicherheit über die Plandaten eine Rolle. Durch Toleranzgrenzen, variiert je nach der Stufe der Planung, kann man Ausgleichsmassnahmen steuern.

- Welche Massnahmen sollen in welchem Ausmass eingesetzt werden? Bei der Beantwortung dieser Frage müssen Restriktionen beachtet und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen gemacht werden.

- Welche Aufträge müssen für einen Ausgleich herangezogen werden? Die Aufträge werden deshalb in Klassen oder Ränge eingeteilt, denen man unterschiedliche Prioritäten zuordnet.

- Welche Ausgleichsmassnahmen sollen welchen Terminplanungsstufen zugeteilt werden? Man versucht, solange als möglich keine oder eine möglichst "billige" Massnahme zu treffen. Deshalb gleicht man bei Grobplanung und Bestellfertigung die Belastung in der Regel allein dadurch aus, dass man einen Auftrag auf der Zeitachse solange verschiebt, bis man freie Kapazität findet. Es besteht lediglich die Möglichkeit, einen Auftrag in einer bestimmten Periode einzuplanen oder nicht einzuplanen. Bei der Programmfertigung wird die Belastung in der Grobplanungsphase in erster Linie durch eine Variation der Stückzahlen an die Kapazität angeglichen.

Die Beispiele zeigen, dass die Wahl und Einsatzreihefolge von Ausgleichsmassnahmen durch die Planungsmethoden in starkem Masse bestimmt werden. Bei der Rechteckapproximation ist das Hinzufügen resp. Wegnehmen einzelner Rechtecke von einem "Belastungsgebirge" die naheliegende Lösung für einen Belastungsausgleich, bei der Kapazitätsterminierung werden zuerst einmal Liegezeiten variiert und erst nachher Kapazitätsänderungen vorgenommen. Die Bedeutung der einzelnen Variablen des Feinentscheides hängt also weitgehend von den Methoden und Instrumenten der Planung und Steuerung ab. Deshalb haben wir dem Rahmenentscheid eine grosse Bedeutung gegeben, während der Feinentscheid nur kurz behandelt worden ist. In den nun folgenden Beispielen aus der Praxis gehen wir etwas mehr auf situationsbedingte Besonderheiten des Feinentscheides ein.

TERMINPLANUNG UND TERMINSTEUERUNG BEI DER BUSS AG, BASEL

Es sollen die Merkmale der Entscheidungssituation bei der Firma Buss AG, die sich daraus ergebenden Anforderungen an ein Terminwesen, der Rahmenentscheid und der Ablauf des Feinentscheids aufgezeigt werden. Von besonderem Interesse ist der Einsatz der Netzplantechnik sowohl für die Auftragsterminierung als auch für die Belastungsplanung auf allen Stufen der Terminplanung und -steuerung unter Zuhilfenahme des Computers.

Dieser Teil wurde im Jahre 1975 erarbeitet aufgrund von:

- Gesprächen mit Herrn P. Bieri, Buss AG
- Bieri P., Integrierte Auftragsabwicklung und Fabrikationssteuerung mit EDV. Beispiel eines umfassenden Terminierungssystems. In: Industrielle Organisation 43 (1974) Nr. 10, S. 449 - 454.
- Umfassendes PPS-System integriert die gesamte Auftragsabwicklung und Fabrikationssteuerung (am Beispiel der Firma Buss AG). Vortrag R. Hajek, T. Schnider und P. Bieri, vom 15.1.1975; Veranstalter SAP, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Produktionsplanung
- Fehr E., Produktionsplanung und -steuerung mit elektronischer Datenverarbeitung., a.a.O., Abschnitt 74: 4. Beispiel, Anwendung der Netzplantechnik bei Einzelfertigung, S. 187 - 191.

ZUR ENTSCHEIDUNGSSITUATION

Merkmale der Aufträge

Pro Jahr werden ca. 1'000 Aufträge abgewickelt. Die Buss AG produziert ein heterogenes Produktesortiment in den Bereichen Stahlbau (Hallen, Brücken, Kranbahnen, Hochregallager), Grossrohrleitungsbau (Druckrohrleitungen, Energieleitungen, Rohrfernleitungen), Behälterbau (Kugelbehälter, Tanklager, Silos), Apparatebau (Rührwerkkessel, Autoklaven, Schaufeltrockner, Drehöfen, Ausrüstungen für Bierbrauereien) und Maschinenbau (Knetmaschinen, Mischmaschinen).

Merkmale der Fertigungsmittel

Das Produktionsdepartement erbringt Dienstleistungen für alle Unternehmungsbranchen. Es wird eine interne Fabrikation und Montage und eine externe Montage unterschieden. Die Fertigungsstunden pro Auftrag schwanken zwischen 10 bis 12'000 Stunden, der Durchschnitt beträgt 350 Stunden.

1.3 Merkmale der Fertigungsverfahren

Der Erstausführungsanteil in den einzelnen Branchen ist sehr unterschiedlich: Am grössten ist er beim Bau von vollständigen Anlagen, am kleinsten im Apparate- und Maschinenbau.

Das heterogene Produktesortiment und die kleinen Stückzahlen verlangen im Apparate- und Maschinenbau eine Artaufstellung der Fertigungsmittel. Der Stahlbau, Rohrleitungsbau und Behälterbau ist zum Teil Baustellenfertigung, zum Teil werden die Fertigungsmittel wegen den grossen und schweren Stücken so aufgestellt, dass ein optimaler Materialfluss erzielt wird.

Die Produkte der Firma Buss AG werden als Einzelstücke oder mit sehr kleinen Stückzahlen gefertigt. Standard-Teile und -Baugruppen werden in Kleinserien hergestellt. Oberstes Unternehmungsziel ist die Anpassung der Produkte an die Marktbedürfnisse. Der Produktestandardisierung sind vom Markt her Grenzen gesetzt. In den Bereichen Stahlbau und Grossrohrleitungsbau wird ausschliesslich aufgrund einer Kundenbestellung gefertigt. Der Behälter- und Apparatebau ist Bestellfertigung mit teilweiser Verwendung von Grundtypen. Im Maschinenbau liegt eine Mischung von Programm- und Bestellfertigung vor. In speziellen Produktebereichen sind auf der Einzelteil- und Baugruppenstufe in den letzten Jahren Anstrengungen zur Standardisierung gemacht worden. Diese Produkte-Elemente werden "kundenneutral" an Lager gefertigt. Trotz Standardisierung fällt bei jedem Auftrag ein Aufwand für Konstruktion, AVOR, Materialbeschaffung und Fertigung an. Die Gesamtdurchlaufzeit eines Auftrages durch den Produktionsbereich schwankt zwischen 1 bis 18 Monaten, im Durchschnitt beträgt er 6 bis 9 Monate. Die weitgehende Berücksichtigung von Kundenwünschen bringt es mit sich, dass Aenderungen an Aufträgen bis kurz vor ihrer Ablieferung vorkommen können.

ZU DEN ZIELSETZUNGEN

Als primäre Zielsetzung wird die termingerechte Abwicklung der Aufträge bei minimaler Kapitalbindung gefordert.

Aus dieser Zielsetzung und aus den Merkmalen der Situation werden die folgenden Anforderungen an ein System der Terminplanung und Terminsteuerung abgeleitet:

- Planung und Ueberwachung der gesamten Auftragsabwicklung vom Bestellungseingang bis zur Ablieferung an den Kunden (Konstruktion, AVOR, Materialbeschaffung, Fertigung, Auswärtsbearbeitung bei Untervergabe, Spedition).

- Flexibilität hinsichtlich der Auftragsmerkmale: Sowohl die Abwicklung von sehr komplexen Aufträgen (Projekte) als auch von einfachen Aufträgen (Kleinserie-Aufträge für Standardteile und Baugruppen) soll mit denselben Methoden und Hilfsmitteln geplant und gesteuert werden.

- Darstellung von Verknüpfungen zwischen den einzelnen Aufträgen: Ein komplexer Auftrag soll in verschiedene Teilaufträge mit eigenen Ablieferungsterminen aufgeteilt werden können.

- Integration von Bedarfsermittlung und Materialbewirtschaftung.

- Beachtung der schrittweisen Konkretisierung eines Auftrages in Form eines gestaffelten Fertigungsablaufes.

- Uebersicht über die Terminsituation aller laufenden Aufträge.

- Auftragsterminierung bereits in der Offertphase bei grösseren Aufträgen.

- Darstellung des Belastungsprofils für die Fertigungs-Hauptbereiche sowie für einzelne Teilbereiche.

- Anfragesimulation: Ueberlagerung der Offertbelastung auf das bestehende Belastungsprofil.

- Periodische Ermittlung eines Arbeitsprogrammes mit Terminpriorität für jede an der Auftragsabwicklung beteiligte Stelle.

- Berücksichtigung von Auftrags-Prioritäten.

- Flexibilität gegenüber Aenderungswünschen des Kunden.

- Geringer Planungsaufwand: Ausnützung der Wiederholhäufigkeit, Mechanisierung und Standardisierung der Planung.

- Geringer Kontrollaufwand. Management by Exception. Kritische Situationen sollen möglichst frühzeitig erfasst und die entsprechenden Konsequenzen ausgewiesen werden. Gezielte Informationen für verschiedene Führungsebenen.

ZUM RAHMENENTSCHEID

Die ausschliessliche Verwendung der Netzplantechnik und der Einsatz des Computers sind die hervorstechendsten Ergebnisse des Rahmenentscheids bei der Buss AG. Der Entscheid für diese beiden Planungsinstrumente dominiert die Gestaltung der zeitlichen Grundstruktur, der Planstellengliederung, der Verbindung mit der Materialbewirtschaftung und der Organisation der Planungsfunktion sowie den Ablauf des Feinentscheides.

Die zeitliche Grundstruktur

Die Länge des Planungszeitraumes ist variabel, sie wird begrenzt von dem am weitesten in die Zukunft reichenden Abliefertermin eines Auftrages. Im Durchschnitt erstreckt sich die Terminplanung auf ca. 1 ¼ Jahre. Der Einsatz des Computers und die noch zu erläuternde sukzessive Ablösung der Grobnetzwerke durch Feinnetze ermöglichen auch der Feinterminplanung die Abdeckung des ganzen Planungszeitraumes. Termineinheit ist grundsätzlich ein Tag, sowohl für die Grob- als auch für die Feinterminplanung. Die Kapazität und die Kapazitätsbelastung werden in Maschinenstunden ausgedrückt. Die Unterteilung des Planungszeitraumes in Terminperioden ist lediglich ein Problem der Datenausgabe aus dem System, indem diese Daten je nach Informationsbedürfnis des Empfängers über den ganzen oder einen mehr oder weniger grossen Teil des Planungszeitraumes hinweg einem Monats-, Wo-

chen- oder Tagesraster zugeteilt werden. Diese zeitliche Grundstruktur wird mit einem 1000-Tage-Betriebskalender abgebildet, der die Arbeitstage fortlaufend von 000 bis 999 numeriert. Um Verwechslungen auszuschliessen, gilt die Regelung, dass der Nummernbereich zwischen dem aktuellen Tag und + 800 immer in der Zukunft liegt und zwischen dem aktuellen Tag und - 200 immer in der Vergangenheit (z.B. sind die Tage 440 - 999 und 000 - 239 in der Zukunft, die Tage 439 - 240 in der Vergangenheit). Die Plandaten werden für alle Stufen der Planung in einem wöchentlichen Zyklus verarbeitet.

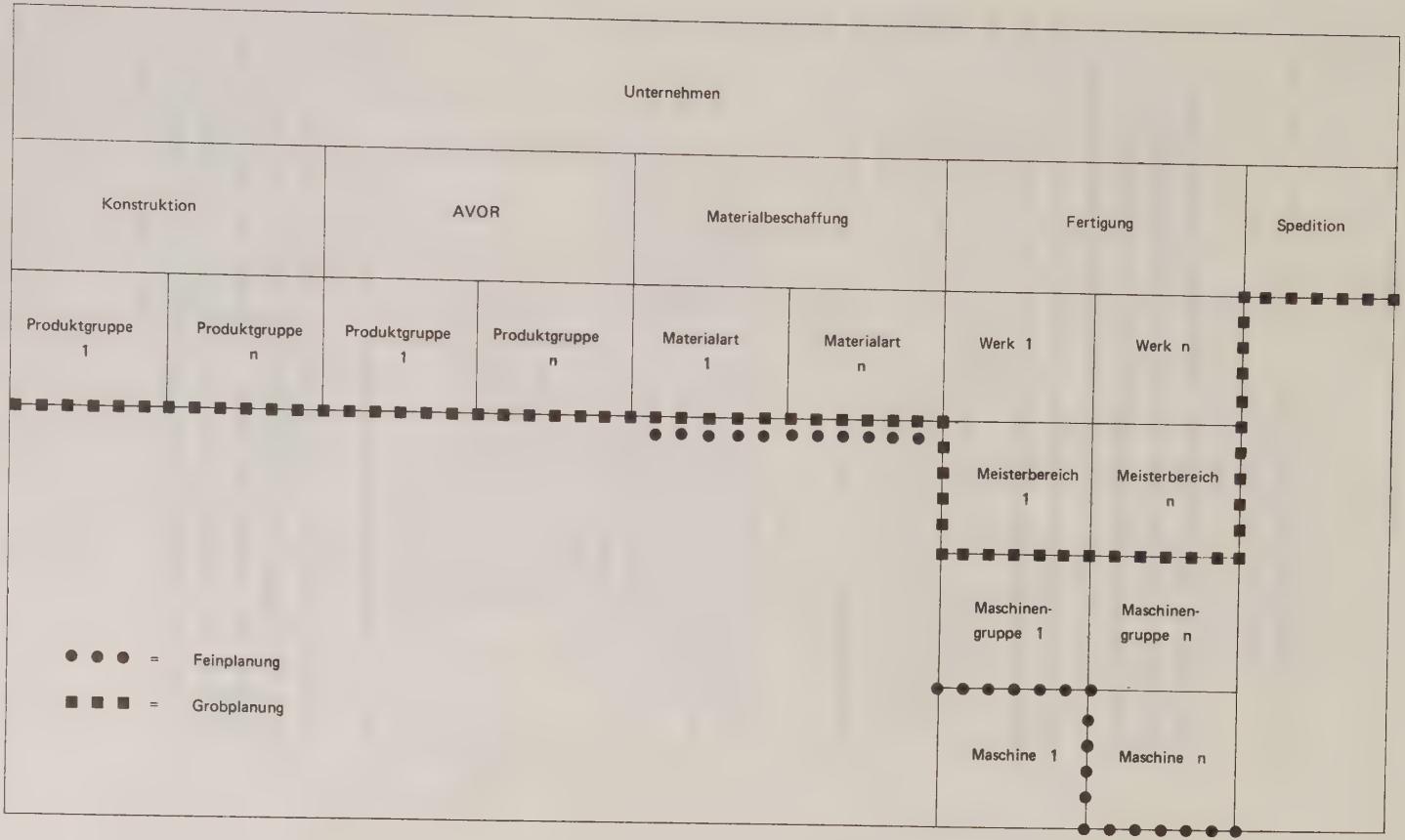
3.2 Definition von Planstellen

Die von der BUSS AG verwendete Einteilung der Planstellen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Sie zeigt,

- dass Planstellen nach funktionalen, räumlichen und verantwortungsmässigen Gesichtspunkten definiert wurde,
- dass in den einzelnen Produktionsbereichen unterschiedliche Führungsebenen angesprochen werden,
- dass die Feinplanung nur die Bereiche Materialbeschaffung und -fertigung anspricht,
- dass für die übrigen Bereiche die Grobplanung relativ detailliert gemacht wird, d.h. dass Planstellen niedrigen Führungsebenen zugeordnet werden.

PLANSTELLENGLIEDERUNG IN DER BUSS AG

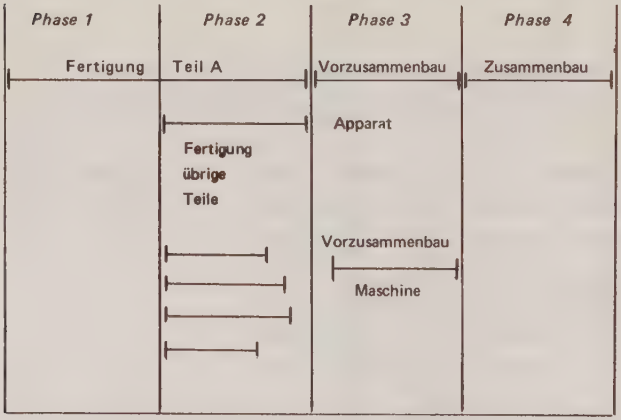


3.3 Der Begriff "Auftragsstaffel"

Ein wesentlicher Bestandteil im Konzept der Terminplanung und -steuerung bildet die sog. Auftragsstaffel. Grossaufträge werden in verschiedene Teilaufträge oder Auftragsstaffeln unterteilt. Diese Staffelung erlaubt eine detaillierte Planung und Ueberwachung und grössere Aussagefähigkeit der Nachkalkulation.

Eine Auftragsstaffel ist ein Kompromiss zwischen der "Ablaufstruktur des Auftrages" und der "Konstruktionsstruktur des Produktes".

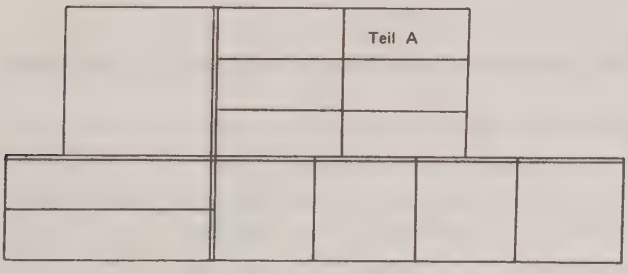
Die Ablaufstruktur eines Auftrages kann wie folgt dargestellt werden:



Die Grobplanung der Auftragsabwicklung will und kann sich nicht mit jedem einzelnen Teil eines Produktes befassen. Nun weisen aber unter Umständen die Durchlaufzeiten für die Fertigung einzelner Teile sehr unterschied-

liche Längen auf (z.B. Teil A braucht 6 Monate, alle andern Teile höchstens 3). Beginnt man gleichzeitig mit der Fertigung von Teil A auch mit der Fertigung aller übrigen Teile, die mit A zusammen eine Baugruppe bilden, ergeben sich für diese Teile lange Liegezeiten. Bei der Festlegung des Auftragsablaufs müssen also bereits in der Phase der Grobplanung einzelne "terminbestimmende Teile" berücksichtigt werden. Indem man diesen Teilen "übrige Teile" zuordnet, erhält man einen Strukturbaum, dessen einzelne Aeste sich als Auftragsstaffeln anbieten. (Eine Darstellung dieses Strukturbaumes ergibt sich durch Drehung der Abbildung der Ablaufstruktur um 90°.) Die Zugehörigkeit von Zeichnungen, Stücklisten und Operationsplänen zu einer Staffel wird bestimmt von der zeitlichen Verwendung dieser Unterlagen in der Fertigung.

Bei der Bildung von Staffeln ist man aber auch von der Konstruktionsstruktur eines Produktes her gewissen Einschränkungen unterworfen. Man kann einzelne Teile nicht immer isoliert betrachten, sondern nur als Element einer in sich geschlossenen Konstruktionseinheit.



Für Produkte, die wiederholt gefertigt werden, verwendet man "Standardstaffeln".

3.4 Netzplantechnik

Der in der Buss AG verwirklichte Einsatz der Netzplantechnik kann mit den folgenden drei Feststellungen beschrieben werden:

- Zweistufige Netzwerkerstellung, damit mit demselben Instrument die Bedürfnisse der Grobplanung und der Feinplanung befriedigt werden können.

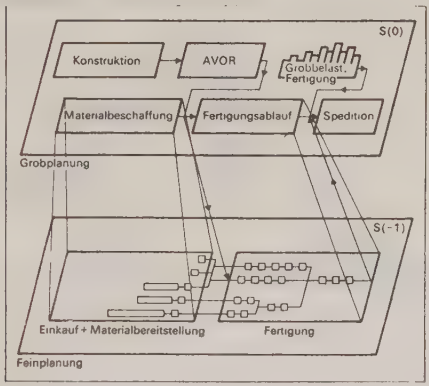
- Aufbau eines Ablaufgrobnetzes und eines Belastungsgrobnetzes, um möglichst frühzeitig nicht nur die Terminsituation der Aufträge, sondern auch die Belastungssituation des Betriebs festzuhalten.

- Feinnetze als Verknüpfung von Operationsplänen, um durch Ausnutzung der Wiederholhäufigkeit und die gemeinsame Verwendung der Operationspläne für die Bedürfnisse des Terminwesens, der Materialbewirtschaftung und der Fertigungssteuerung den Planungsaufwand möglichst gering zu halten.

3.4.1 Zweistufige Netzwerkerstellung: Grobplanung - Feinplanung

Wie die Abbildung zeigt, werden zwei Ebenen der Terminplanung und -steuerung unterschieden. Die obere Ebene stellt das Netzwerk der Grobplanung dar. Es ist Aufgabe dieses Netzes, den gesamten Auftragsablauf in den Bereichen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Materialbeschaffung, Fertigung und Spedition terminlich zu überwachen. Zudem soll die Belastung des Fertigungsbereichs durch

den Auftrag aufgezeigt werden. Das Netzwerk der Feinplanung umfasst lediglich die Fertigung und die Materialbeschaffung und wird mit zunehmender Konkretisierung der Auftragsbearbeitung in den Fertigungsablauf eingeknüpft, sodass im Bereiche der Fertigung die Feinnetze das Grobnetz ablösen.



(1)

Die Stufenbildung erfolgt mit Hilfe der Planstellengliederung und der Aufteilung eines Auftrages in Auftragsstaffeln.

---

(1) aus Bieri P., a.a.O.

3.4.2 Ablaufgrobnetz - Belastungsgrobnetz

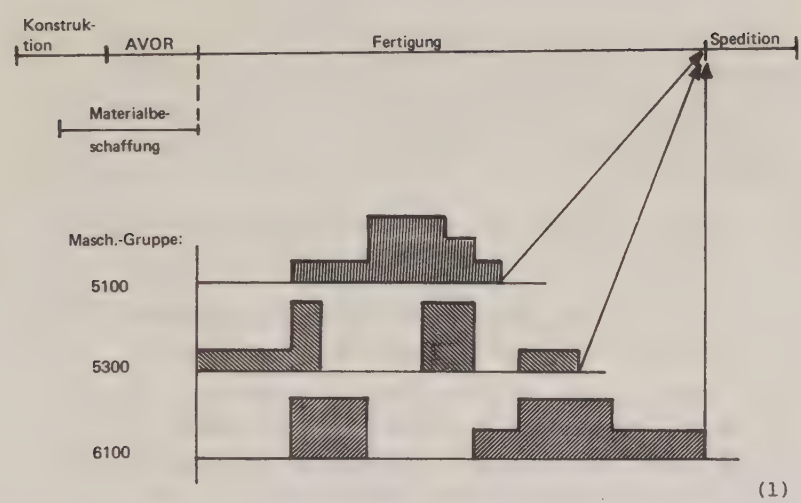
In der Ebene der Grobplanung werden zwei Arten von Netzwerken unterschieden. Das Ablaufgrobnetz stellt den Durchlauf eines Auftrages durch den gesamten Produktionsbereich dar. Die Netzstruktur zeigt, in wie vielen Staffeln ein Auftrag in den Stellen Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Spedition bearbeitet wird. Mittels Durchlaufzeiten wird für jede Netztätigkeit festgehalten, während welcher Zeitspanne sie von der entsprechenden Stelle bearbeitet wird. Mit Ausnahme von Terminen für die Beschaffung von Hauptmaterialien und Speditionsterminen gehen also nur Durchlaufzeiten in ein Ablaufgrobnetz ein.

Das Belastungsgrobnetz plant die Belastung des Fertigungsbereiches durch einen einzelnen Auftrag (die Belastung der Bereiche Konstruktion, AVOR, Spedition wird im Sinne einer Engpassplanung direkt im Ablaufgrobnetz berücksichtigt). In der Belastungs-Grobplanung wird eine Planstellengliederung verwendet, die um einiges detaillierter ist als jene des Ablaufgrobnetzes. "Das Belastungsgrobnetz ..... wird parallel zur Fertigungstätigkeit ins Ablaufgrobnetz eingeknüpft. Dies erlaubt ein synchones Verschieben der Fertigungs-Grobbelastung entsprechend der Terminsituation in den der Fertigung vorgelagerten Stellen." (1)

Die Verknüpfung von Ablaufgrobnetz und Belastungsgrobnetz erfolgt mit Hilfe des Termins für die Ablieferung des Produktes an den Kunden.

---

(1) Bieri P., a.a.O., S. 452



(1)

Der Grund für die Zweiteilung in Ablaufgrobnetze und Belastungsgrobnetze liegt darin, dass man mit einer Ablaufgrobplanung den Durchlauf eines Auftrages (ev. einzelner Auftragsstaffeln) durch alle Kapazitätsbereiche der Produktion planen will ohne grosse Aufgliederung dieser Bereiche, während bei der Belastungsgrobplanung die Belastung allein des Bereiches "Fertigung" relativ detailliert geplant werden soll. Ergebnis der Ablaufgrobplanung ist die Terminsituation mit einigen wenigen Eckterminen je Auftrag, während die Belastungsplanung die Belastungssituation einzelner Fertigungsbereiche aufgrund des gesamten Auftragsbestandes über den ganzen Planungszeitraum hinweg ermittelt. Die relativ detaillierten Belastungsgrobnetze erlauben zudem eine aussagefähige Belastungssimulation für Offertanfragen, denen wegen den Auftragsmerkmalen bei der Buss AG eine grosse Bedeutung zukommt.

---

(1) aus Bieri P., a.a.O.

3.4.3 Feinnetze als Verknüpfungen von Operationsplänen

Die ca. 1'000 Aufträge pro Jahr entsprechen ca. 4'000 Aktivitäten im Ablaufgrobnetz, ca. 80'000 im Feinnetz. Deshalb kommt dem Problem der Erstellung, Ablösung und Aenderung der einzelnen Netzwerke grosse Bedeutung zu. Bei der Konstruktion des Systems ist darauf geachtet worden, dass

- manuelle Tätigkeiten beim Erstellen und Nachführen der Netzpläne auf ein Minimum reduziert werden,

- für wiederholt verwendete Produkte, Baugruppen oder Teile die Netze standardisiert werden.

Die Strukturanalyse der Netzwerke beruht einerseits auf der Zusammenlegung der Stücklisten mit den Operationsplänen und anderseits auf der Verknüpfung dieser "kombinierten Operationspläne" zu einem Auftragsnetzwerk aufgrund eines Vorschlages von Fehr (1):

"Die Auftragsstückliste enthält alle Baugruppen und Teile, welche direkt in die Endmontage eingehen sowie die Operationen der Endmontage mit Angabe von Vorgabezeit und beanspruchter Produktionseinheit. Die Baugruppenstückliste enthält für jede Baugruppe die benötigten Teile sowie die Operationen der Baugruppenmontage mit Angabe von Vorgabezeit und beanspruchter Produktionseinheit. Schliesslich enthält der Operationsplan das benötigte Ausgangsmaterial sowie alle Operationen der Teilefertigung mit Angabe von Vorgabezeit und beanspruchten Produktionseinheiten. Rohmaterialien, Teile und Baugruppen, welche an Lager gehalten werden, sind besonders gekennzeichnet. Für Materialien, die auftragsgebunden von auswärts bezogen werden, ist die entsprechende Lieferfrist vermerkt. Die

---

(1) Fehr E., a.a.O., S. 187 f.

aufsteigende Numerierung der Ereignisse wird durch eine 9-stellige Ereignisnummer folgender Art sichergestellt:

	Auftrag bzw. Produkt	Baugruppe bzw. Teil	Teil	Operation
Beginntermin des Projektes	567	00	00	00
Abschluss 2. Operation des 11. Teils der 13. Baugruppe	567	13	11	02
Abschluss 3. Operation der Endmontage	567	99	99	03

Innerhalb eines Auftrages werden die Baugruppen laufend von 01 bis 98, innerhalb einer Baugruppe die Teile laufend von 01 bis 98 durchnumeriert. Die Zahl 99 bleibt reserviert für Tätigkeiten auf einer höheren Stufe. Durch Ausgabe des vorausgehenden und des nachfolgenden Ereignisses lässt sich jede Tätigkeit richtig in den Netzplan einordnen, wobei die Numerierung den Vorteil hat, dass sie aussagefähig ist und die Zugehörigkeit der Tätigkeiten zu den Aufträgen erkennen lässt."

Somit kann man sagen, dass die Operationspläne nicht ein Hilfsmittel für das Erstellen eines Feinnetzes darstellen, sondern dass sie selber ein Feinnetz bilden. Die einzelnen Operationspläne innerhalb des Netzplanes lassen sich nach der erwähnten Baumstruktur der hierarchischen Beziehung zwischen Materialien, Teilen und Baugruppen eines Produktes anordnen. Das Beispiel eines Operationsplanes auf der nächsten Seite zeigt seine Doppelfunktion:
Oben befinden sich Angaben über die Materialien (= Stückliste), unten über die Fertigungsoperationen (= Operationsplan). Die laufende Nummer legt fest, ob es sich

Operationsplan - 106 -

BUSS

Auftrags-Nummer	Sach-Nummer	ZS	Stückzahl	Gegenstand	Blatt
310386	399509	S	1	div. U-L-Stahl, Platte Stützsäule	1 von 1

GK-Nummer	Zeichnungs-Nummer	ZF	Kunde	Objekt
	317556	1	BHL	BT 140 gr. 7.2

FS-Nummer	Visum FS	erstellt am	erstellt von	ausgegeben am	ausgegeben von
1950		31.10.75	Brunner	4.11.75	OK

Lfd Nr.	Planstelle	Termin	Stückzahl Position	Sach-Nr Position	ZS	Benennung / Werkstoff	AT/AZ	Sach-Nr. Mat.	Bemerkungen: Rohmass	Modell-Nr.	Menge	Gewicht
010			2	317550	0	U-Stahl						
						USt.37.1		702977	U 8	x	135	
015			2	317551	0	U-Stahl						
						USt.37.1		702977	U 8	x	205	
020			2	317552	0	L-Stahl						
						USt.37.1		703057	L 50	8	90	
025			2	317553	0	Platte						
						USt.37.1		702001	⌀ 60	10	150	
510	8120	0,30	0,70	1,0	1	sägen entgraten						
	10											
520	5110	0,50	1,50	2,0	1	anfertigen Schrägen Sattelungen, sämtl. Löcher inkl.						
	10					verputzen compl.						
530	8502					Kontrolle						
	62											
540	5510	0,30	0,40	0,7	1	sanden						
	10											
	6890											
						399509/1950/540 317556/1952/505						

Op.Nr	Planstelle	tr	te	Total Vorg. Zeit	LC	Arbeitsgang
Lfd.Nr	Kontr.Code	Kontrolle		VK-Nr.		VON Sach-Nr./FS-Nr./Op.Nr.
	Ue%	Uez	VA	DLZ		NACH Sach-Nr./FS-Nr./Op.Nr. Tät Nr. Ue% VA Uez

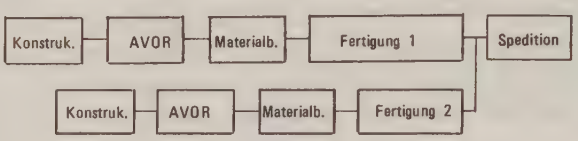
718298/1 - 5 75 - 14000

um bereitzustellendes Material (Nummer kleiner als 500) oder um Fertigungsoperationen (Nummer grösser als 500) handelt. Die Rüst- und Stückzeiten für die Fertigungsoperationen sind in den Spalten "tr" und "te" vorgegeben. Die Verknüpfung der einzelnen Operationspläne zu Netzplänen geschieht mit Hilfe der untersten Zeile auf dem Formular.

Zusammenfassend kann der Aufbau der einzelnen Netzwerke in die folgenden fünf Phasen unterteilt werden:

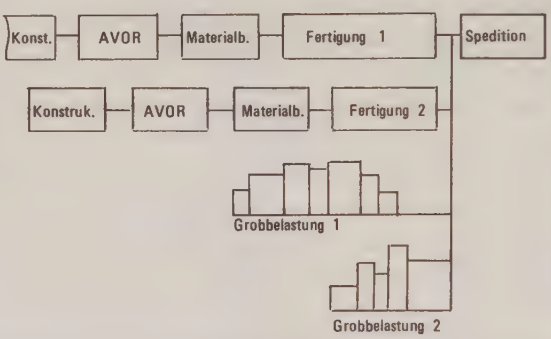
Phase 1:

Offertanfrage
Belastungs-Simulation



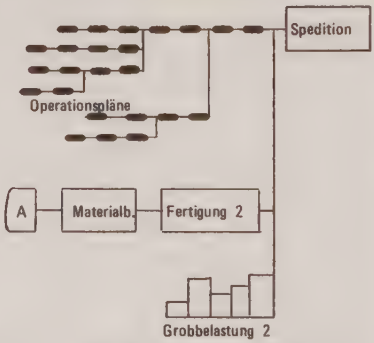
Phase 2:

Darstellung des Auftragsablaufes gemäss Ablaufgrobnetz



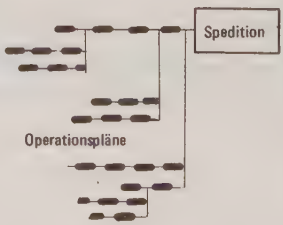
Phase 3:

Ergänzung des Auftragsablaufes durch die Grobbelastung der Fertigung



Phase 4:

Teilweise Ablösung des Grobnetzes durch Feinnetz
(= Operationsplan)



Phase 5:

Auftrag ganz im Fertigungs-Stadium

.5 Integration von Bedarfsermittlung und Materialbewirtschaftung

Ein System der Produktionsplanung und Produktionssteuerung kann in die Teilsysteme Bedarfsermittlung, Materialbewirtschaftung, Terminplanung und Terminsteuerung aufgeteilt werden. Je nach dem Ausmass der gegenseitigen Verknüpfung lassen sich verschiedene Grade der Integration von Teilsystemen unterscheiden:

- Die einzelnen Teilsysteme werden von der Planung isoliert betrachtet. Durch Pufferlager wird die Verfügbarkeit der Materialpositionen abgesichert. Ein gewisses Mass von Integration wird lediglich in der Steuerungsphase angestrebt.

- Die Verknüpfung von Bedarfsermittlung, Materialbewirtschaftung und Terminwesen erfolgt nur in einer Vorwärts-Richtung von der Bedarfsermittlung über die Materialbewirtschaftung zur Terminplanung. Da es keinen rückläufigen Informationsfluss von der Terminplanung zur Materialdisposition gibt, müssen zum Beispiel Aenderungen in der Belastungssituation durch Pufferlager oder Massnahmen der Terminsteuerung aufgefangen werden.

- Zwischen Bedarfsermittlung, Materialbewirtschaftung und Terminplanung besteht sowohl eine Vorwärts- als auch eine Rückwärts-("Feedback")-Integration. Die Verbesserung der Planung führt zu kleineren Pufferlagern und vermindert die Anforderungen an die Steuerung der Produktion. (1)

---

(1) siehe dazu R. Haberfellner, K. Rutz, a.a.O. S. 23 ff.

In der Buss AG hängt der Integrationsgrad der Planung und Steuerung von einer ABC-Analyse der Materialien, Teile und Baugruppen ab. In die A-Gruppe werden Artikel mit dem relativ grössten mengenmässigen Verbrauch eingereiht, in die C-Gruppe jene mit dem relativ kleinsten Verbrauch und Hilfsmaterialien. Die A-Gruppe wird nach Bedarf, die C-Gruppe nach Verbrauch disponiert. Für die B-Gruppe wird die Dispositionsart artikelweise festgelegt, das heisst, die B-Artikel werden zum Teil nach Bedarf, zum Teil nach Verbrauch bewirtschaftet. Für verbrauchsgesteuerte Artikel besteht kein Zusammenhang zwischen dem Terminwesen und der Materialbewirtschaftung, weil das Lager als Puffer zwischen beiden Systemen funktioniert. Für bedarfsgesteuerte Artikel ergibt sich das Problem, dass die Termine wöchentlich für den ganzen Planungszeitraum neu aufgebaut werden, so dass unter Umständen der terminierte Bedarf in der Verfügbarkeitsrechnung nicht mehr mit der aktuellen Situation des Terminwesens übereinstimmt. Die Buss AG hat deshalb die Absicht, die bisherige statische Verfügbarkeitsrechnung an die dynamische Terminierung anzugleichen, indem die Bedarfstermine und die Verfügbarkeitsrechnung im gleichen Zyklus immer wieder neu durchgerechnet werden.

6 Die Organisation der Planungsfunktion

Welche Stellen in der Buss AG befassen sich mit der Terminplanung und -steuerung? Welche Funktionen übernehmen sie im Rahmen eines Systems der Planung und Steuerung? Welche Informationen stehen ihnen zur Verfügung und in welcher Weise sind sie am Feedbackmechanismus des Systems beteiltigt? In welchem Intervall treten die auftragsbearbeitenden Stellen mit dem System der Planung und Steuerung in Berührung? Wir haben die Antworten auf diese Fragen mit Hilfe einer Matrix dargestellt. Hiezu noch einige Erläuterungen: Wir müssen zwischen auftragsbearbeitenden Stellen und der Verwaltung und dem Betrieb des Systems der Terminplanung und -steuerung unterscheiden. Den verschiedenen auftragsbearbeitenden Stellen in der "Linie" steht eine einzige Terminzentrale als "Stab" zur Verfügung. Sie hat lediglich eine überwachende und koordinierende Funktion und nimmt deshalb nicht aktiv an der Planung und Steuerung von Terminen teil. Innerhalb der Auftragsbearbeitung fällt die kurzfristige Planung und Steuerung den Meistern, die mittelfristige der Abteilungs- und die langfristige der Departements-Leitung zu. Niedrige Führungsebenen befassen sich mehr mit den Aufträgen, höhere mehr mit der Belastungssituation. Der Kontakt mit dem Terminsystem nimmt mit zunehmender Verdichtung der Plandaten und Höhe der Führungsebene ab ("Management by Exception").

Auftragsbearbeitende Stelle	Funktion	Führungsinformation (Systemoutput)	Periodizität	Berichts-/Rapportwesen (Feedback, Systeminput)	Periodizität
Mitarbeiter	Auftragsbearbeitung	------	------	z.T. Rückmeldeformulare	wöchentlich
ister (Fertigung) Gruppenleiter (übrige Bereiche)	Arbeitsverteilung	Arbeitsfolgeübersicht	wöchentlich	------	------
	kurzfristige Kapazitätsüberwachung/-steuerung	Kapazitätsauslastung auf Planstelle im Wochenraster mit Feinplanung	wöchentlich	Kapazitätsmeldung für kurzfristige Kapazitätsänderungen	14-täglich
		Kapazitätsauslastung auf Gruppenbereich im Wochenraster mit verdichteter Feinplanung und Grobplanung	wöchentlich		
Abteilungsleiter	Abliefertermin - Ueberwachung Terminverschiebung Entscheid	Terminliste pro Auftrag mit einem, ev. mehreren gestaffelten Abliefertermin(en)	wöchentlich	Abliefertermin - Aenderungsmeldung	bei Bedarf
	Mittel- und langfristige Kapazitätsüberwachung Mittelfristige Kapazitätsbereitstellung	Balkendiagramm für grössere Aufträge mit verdichteter Grobplanung (Gruppen- resp. Abteilungsstunden pro Auftrag resp. Auftragsstaffel)	monatlich	Kapazitätsmeldung für mittelfristige Kapazitätsänderungen	jährlich und nach Bedarf
		Kapazitätsauslastung auf Planstelle und Planstellengruppe im Monatsraster mit Grobplanung und Feinplanung	monatlich		
		Kapazitätsauslastung auf Abteilungs-Ebene im Monatsraster mit Grobplanung und verdichteter Feinplanung	monatlich		
		Protokoll über die manuell entschiedenen Auftragsprioritäten (1-3) pro Auftrags-(Produkte-) Gruppe	monatlich		
Departementsleitung	Letzte Instanz für Entscheide bez. Abliefertermin langfristige Kapazitätsbereitstellung	Prioritätsliste Kapazitätsauslastung/Abteilungsbalkendiagramm (siehe Abteilungsleiter)	monatlich		

ZUM ABLAUF DES FEINENTSCHEIDS

Der Ablauf des Feinentscheids wird durch die elektronische Datenverarbeitung nicht nur beschleunigt, sondern auch in starkem Masse vereinfacht wegen der sauberen Trennung zwischen der Eingabe von Daten, ihrer Verarbeitung durch das System und der Ausgabe an die mit der Auftragsbearbeitung beteiligten Stellen. Das Erfassen von Eingabedaten geschieht am Orte ihrer Veränderung und wird von den an der Auftragsbearbeitung beteiligten Stellen vorgenommen. Die Daten werden entweder sofort nach Auftreten eines Ereignisses in der Auftragsbearbeitung oder stapel- oder schubweise in einem Wochenzyklus an das System zur Verarbeitung weitergeleitet. Die stufenweise Verfeinerung der Pläne ist nicht ein Problem der wöchentlichen Verarbeitung, die für alle Daten mit der gleichen zeitlichen Grundstruktur, derselben Methode und innerhalb einer einzigen Detaillierungsstufe erfolgt, sondern wird durch die Dateneingabe gesteuert. Die Ausgabe der Daten an die an der Auftragsbearbeitung beteiligten Stellen wird also von einer für alle gemeinsamen Datenbasis aus vorgenommen. Weil diese Datenbasis so detailliert als möglich erstellt wird, ergibt sich für die Ausgabe das Problem der "Verdichtung", weil man verschiedenen Führungsebenen in verschiedenen Bereichen die für sie notwendigen Daten zur Verfügung stellen will. Wegen der Trennung von Eingabe und Verarbeitung der Daten kann das Problem der Datenverdichtung auf relativ einfache Art und unter Berücksichtigung von Spezialfällen gelöst werden. Im Abschnitt über die Organisation der Planungsfunktion haben wir eine Zuordnung von Führungsinformationen zu einzelnen Stellen sowie deren Rolle im Mechanismus des "Feedback" in einer Matrix dargestellt. Nun wollen wir den Ablauf des Feinentscheids von einem einzelnen Auftrag her betrachten.

4.1 Aufbau des Ablaufgrobnetzes

Beim Bestellungseingang wird das Ablaufgrobnetz unter der Leitung einer Terminzentrale von den an der Auftragsabwicklung beteiligten Stellen erstellt. Grundlage der Zeit-Erfassung bilden die Produktionsbeschreibung aus der Offertphase und die Erfahrung. Für jede Planstelle wird die Durchlaufzeit einer Auftragsstaffel in Tagen geschätzt. In die Fertigungsdurchlaufzeit "eingeknüpft" werden Hauptmaterialien mit langen Beschaffungsfristen.

4.2 Einknüpfen eines Belastungsgrobnetzes

Vom Fabrikationssteuerungsbüro der einzelnen Departemente werden die Totalstunden eines Auftrages sowie ihre zeitliche Verteilung über die Durchlaufzeit erfasst. Grundlage bilden Zahlen aus der Offertkalkulation sowie Erfahrungswerte. Das Belastungsgrobnetz wird von der Terminzentrale parallel zu den Fertigungstätigkeiten ins Ablaufgrobnetz "eingeknüpft", "Aufhänger" ist die Tätigkeit Spedition.

4.3 Sukzessive Ablösung eines Grobnetzes durch Feinnetze

Wie erwähnt, ist das Feinnetz identisch mit den Operationsplänen. Aus diesem Grunde geschieht die Ablösung des Grobnetzwerkes durch das Feinnetzwerk sukzessive mit zunehmender Konkretisierung der Fertigungsaufgabe, d.h. sie hängt ab von der Arbeitspapiererstellung durch die AVOR für die einzelnen Auftragsstaffeln.

Durchlaufterminierung

Grundlage der Grobterminierung sind die geschätzten Durchlaufzeiten, Grundlage der Feinterminierung die in den Operationsplänen enthaltenen Vorgabezeiten. Für jede Planstelle werden die Operationszeiten aufgrund von Angaben über die Anzahl Betriebsstunden pro Tag und den durchschnittlichen Leistungsgrad aus den Vorgabezeiten errechnet. Die Transport- und Liegezeiten hangen vom Wechsel innerhalb der Planstellenhierarchie ab. Sie werden einer Planstellen-Orts-Matrix entnommen, deren Werte aufgrund von statistischen Erhebungen bestimmt worden sind. Als zusätzlicher Parameter zur Festlegung der Durchlaufzeit wird eine extern gesetzte Auftragspriorität verwendet, die angibt, in welchem Ausmass die Transport- und Liegezeiten gestrafft werden sollen.

Transportzeit/Liegezeit:

Planstellen - Orts - Matrix

Planstelle nach / von	3100	3203	4206	4208	5301
3100		1	2	1	3
3203	2		0	1	2
4206	3	4		2	2
4208	2	3	1		3
5301	4	2	3	2	

z.B. von 4206 nach 5301 2 Tage
von 5301 nach 4206 3 Tage

Die Netzpläne enthalten, ausser einem Endzeitpunkt und ev. einem Anfangszeitpunkt, keine Termine. Diese werden periodisch neu errechnet mit Hilfe einer Vorwärts- und Rückwärtsterminierung.

"Aufsetzend auf den Netzbeginnterminen werden die Netze vorwärts terminiert. Netzbeginntermine können gesetzt werden (Materiallieferungen, frühestmögliche Konstruktionsbeginne). Fehlen sie, wird das Tagesdatum des Computerlaufes als Beginntermin angenommen. Bei der Rückwärtsterminierung wird auf den errechneten und den gesetzten Netzendterminen aufgesetzt. Für jede Tätigkeit des Netzes sowie für die Beginn- und Endtermine wird durch Vergleich der Vorwärts- und Rückwärtsterminierung die Terminsituation in Form von Puffer und Verzug errechnet." (1)

Die Ergebnisse der Terminrechnung werden auf verschiedenen Listen dargestellt. Die Terminliste gibt Auskunft über die Terminsituation der einzelnen Aufträge. Die Arbeitsfolgeübersicht entspricht dem im allgemeinen Teil erwähnten Arbeitsprogramm für die Planstellen des Fertigungsbereichs. "Die in der Arbeitsfolgeübersicht ausgedruckte Reihenfolge der auszuführenden Tätigkeiten entspricht ihrer Dringlichkeit. Die Reihenfolge wird mittels eines Modells berechnet, das die Parameter Puffer, Verzug, externe Auftragsdringlichkeit, Beginntermin und offene Arbeitsgänge berücksichtigt. Die Gewichtung der Parameter kann frei bestimmt werden." (1)

Als Besonderheit sei das Arbeitsprogramm für die Arbeitspapier-Ausgabe und die Materialausgabe erwähnt.

---

(1) Bieri P., a.a.O., S. 452

.5 Auflastung

Die Belastungsplanung ist eine Auflastung ohne Belastungsausgleich. Mit Hilfe des Computers wird das Belastungsprofil jeder Planstelle ermittelt, wobei drei Belastungsarten unterschieden werden: Grobnetzstunden einer Offert-Simulation, Grobnetzstunden eines festen Auftrages und Stunden eines Feinnetzes. Auf diese Weise kann der unterschiedliche Grad an Ungewissheit einzelner Belastungen berücksichtigt werden. "Tätigkeiten mit Puffer werden vom spätesten Beginnzeitpunkt aus um den Puffervorlauf zeitlich nach vorne verschoben und zu diesem Termin in das Belastungsprofil einbezogen. Der Puffervorlauf ist für jede der zwei Netzsystemebenen frei wählbar. Er ergibt sich aus einer Abwägung zwischen Kapitalbindung (Puffervorlauf klein) und Sicherheit der terminlichen Auftragsabwicklung (Puffervorlauf gross)." (1)

.6 Fortschrittsverfolgung

Mit der Fortschrittsverfolgung werden die laufenden Veränderungen in der Terminsituation eines Auftrages an das Planungs- und Steuerungssystem zurückgemeldet. Insbesondere sollen Abweichungen der IST-Termine von den SOLL-Terminen rechtzeitig erkannt werden. "Es existieren zur Zeit drei verschiedene Fortschrittsverfolgungssysteme. Die durch das Ablaufgrobnetz gesteuerten Stellen rappor-

---

(1) Bieri a.a./., S. 454

tieren mit Rückmeldekarten. Bei Werkstattstellen mit mengenmässig wenigen, dafür umfangreichen Operationen (Montage, Zusammenbau usw.) melden die Meister den Fortschritt durch Ankreuzen auf der Arbeitsfolgeübersicht. Bei Werkstattstellen mit vielen Einzeloperationen (mechanische Fertigung, Anarbeit) ist die Fortschrittsverfolgung mit dem Lohnerfassungssystem gekoppelt. Hier wird von einem zentralen Lohnschreiberleitstand aus rapportiert. Bei den ersten zwei Fortschrittsverfolgungssystemen sind auch Teilrückmeldungen möglich." (1)

4.7 Kontrolle und Steuerung

Die Arbeitsfolgeübersicht schreibt den Planstellenleitern die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung vor. "Die Kontrolle der Termin- und Belastungssituation geschieht manuell und für die zwei Netzebenen getrennt in den Stellen Terminzentrale und Fabrikationssteuerung. Zusätzlich treffen sich periodisch die an der Auftragsabwicklung beteiligten Stellen, um Aufträge mit besonderen Terminschwierigkeiten durchzusprechen." (1) Bei Aufträgen mit Verzug kann der kritische Weg mit Hilfe der Terminliste verfolgt werden. "Bei Durchlaufschwierigkeiten ohne Kapazitätsprobleme lassen sich einzelne Tätigkeiten überlappen oder die Durchlaufzeit verkürzen. Weiter kann die externe Priorität eines Auftrages erhöht werden. Um einen Missbrauch der Prioritätsvergabe zu vermeiden, werden für die einzelnen Auftragsgruppen Prioritätskontingente bestimmt. Bei Kapazitätsüberlastung erfolgt der Kapazitätsausgleich nicht rein maschinell, sondern nach dem Prinzip des

---

(1) Bieri P., a.a.O., S. 452 f.

"Mensch-Maschinen-Systems". Das Programm ermittelt die an einer Ueberlastung beteiligten Aufträge. Manuell wird - falls möglich - durch Schichtarbeit, Personalverschiebung usw. die Fertigungskapazität erhöht. Ist dies nicht durchführbar, so ist abzuklären, welche Aufträge zeitlich vor- oder zurückverschoben werden müssen." (1)

---

(1) Bieri P., a.a.O., S. 452 f.

TERMINPLANUNG UND TERMINSTEUERUNG DER HERSTELLUNG VON SULZER-WEBMASCHINEN

Das Beispiel soll vor allem die grosse Bedeutung der Entscheidungssituation für die Problematik des Terminwesens zeigen. Im Gegensatz zum Typ "Bestellfertigung in Werkstätten", wie er bei der BUSS AG beschrieben worden ist, haben wir es hier vereinfachend gesagt, mit einer "Bandmontage nach Programm" zu tun. Statt einer komplizierten Mehrstellenplanung unter Zuhilfenahme der Netzplantechnik sehen wir eine Einstellenplanung unter Verwendung eines heuristischen Verfahrens für die Auftragsterminierung. Von besonderem Interesse ist die unterschiedliche Stellung des Terminwesens innerhalb der Produktionsplanung und -steuerung. Während die Terminplanung und -steuerung bei BUSS eine zentrale Rolle innerhalb des Produktionsbereichs spielt, sind bei Sulzer die Terminierungsfunktionen auf verschiedene Subsysteme innerhalb eines Produktionsplanungs- und Steuerungs-Systems (PPS) aufgeteilt. Die bei Sulzer verwirklichte Standardisierung der Webmaschinen-Produktion zeigt, dass durch eine geschickte Gestaltung der Entscheidungssituation die Problematik des Terminwesens wesentlich vereinfacht wird.

Dieser Teil wurde im Jahre 1975 erstellt und beruht auf

- Gesprächen mit den Herren Balzli und Kretzschmar, Gebrüder Sulzer AG, Winterthur
- Bedarfsprognose und deren Auflösung durch Kundenaufträge im Produktions-, Steuerungs- und Kontrollsystem, Vortrag W. Hunziken vom 19.2.1975; Veranstalter SAP, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Produktionsplanung
- Gebrüder Sulzer AG, Die Produktionssteuerung und Kontrolle "PSK" erläutert am Beispiel der Webmaschinen-Abteilung der Firma Gebr. Sulzer Aktiengesellschaft, Winterthur 1971

. ZUR ENTSCHEIDUNGSSITUATION

Bei der Produktion von Webmaschinen steht man vor dem folgenden Dilemma: Einerseits besteht eine Webmaschine aus vielen zum Teil recht komplizierten Bestandteilen, deren Herstellung bis zu 80 Operationen und Durchlaufzeiten von mehreren Monaten bis zu einem Jahr benötigt. Anderseits verlangt der Markt eine ständige Ausweitung des Sortiments, eine laufende Anpassung des Produkts an den technischen Fortschritt und immer kürzere Lieferfristen. Die Lösung liegt bei einer konsequenten Standardisierung. Sie ermöglicht eine Fertigung nach Produktionsprogramm und eine teilweise Zweckaufstellung der Fertigungsmittel.

.1 Standardgüter

Eine Sulzer Webmaschine wird aus mehreren Tausend Teilen zusammengebaut. Der daraus sich ergebende Variantenreichtum hat nicht nur die Produktionsplanung und -steuerung sondern auch die Spezifikation der Kundenaufträge schwierig gemacht. Durch eine hierarchische Gliederung des Produktaufbaus einerseits und eine Zuordnung von relativ wenigen "Verwendungsmerkmalen" an die einzelnen Elemente des Strukturbaumes anderseits konnte diese Vielfalt überschaubar gemacht werden.

Die Webmaschinen werden gegliedert in Funktionsgruppen oder Grundtypen und Funktionsuntergruppen wie z.B. Staubfang, Gestell, Spulengestell. Die zu einer Untergruppe

gehörenden Teile sind in den "Stückverzeichnissen" aufgeführt. Die Grundtypen lassen sich mit einigen wenigen Merkmalen definieren. So ergibt sich zum Beispiel die Variante 1 eines Grundtyps aus der Kombination der Merkmale "Breite 85 Zoll" und "Fachbildung E 10". Für jede Funktionsuntergruppe wird ein sog. "Freigabeverzeichnis" definiert, das zeigt, welche Verwendungsmerkmale in Frage kommen. Indem man Stückverzeichnis und Freigabeverzeichnis miteinander kombiniert (siehe Abbildung nächste Seite), kann man aus einer sehr grossen Anzahl von Teilen mit Hilfe einiger weniger Merkmale die für eine bestimmte Maschine benötigten auswählen.

Freigabeverzeichnis

Benennung GE - allg.									Sv - Nr. 900 0100 0
Variante									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	Merkmale
1	2	3							85
			4	5	6				110
						7	8	9	130
1			4			7			E10
	2			5			8		E14
		3			6			9	KT

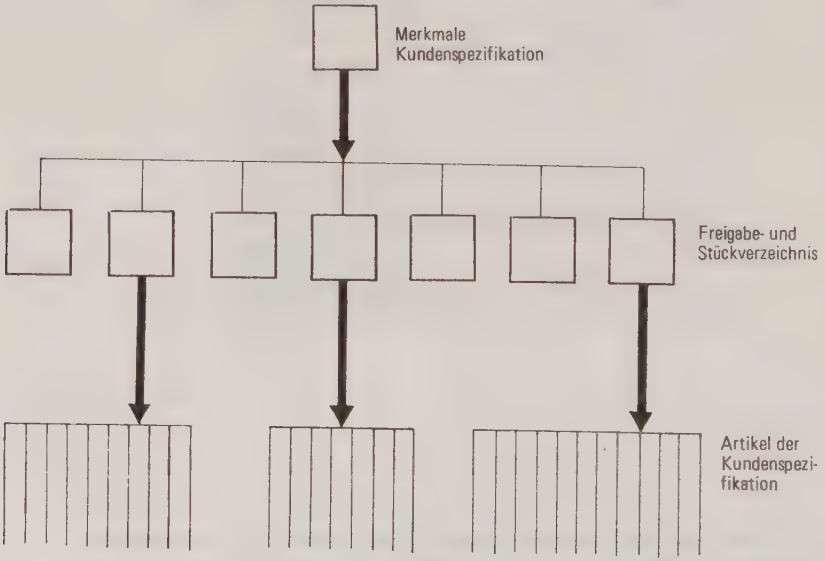
Stückverzeichnis

Benennung GE-allg.									Sv-Nr. 900 0100 0
Variante									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	Artikel-Nr.
1			1			1			911 101 211
	1			1			1		911 101 205
		1			1			1	911 101 213
2	2	2	2	2	2	2	2	2	921 991 700
1	1	1	1	1	1	1	1	1	911 101 213
6	6	6	6	6	6	6	6	6	921 991 700
1	1	1							911 201 682
			1	1	1				911 201 675
						1	1	1	911 201 686

Die verwendeten Darstellungen entstammen der eingangs erwähnten Broschüre der Firma Gebr. Sulzer AG

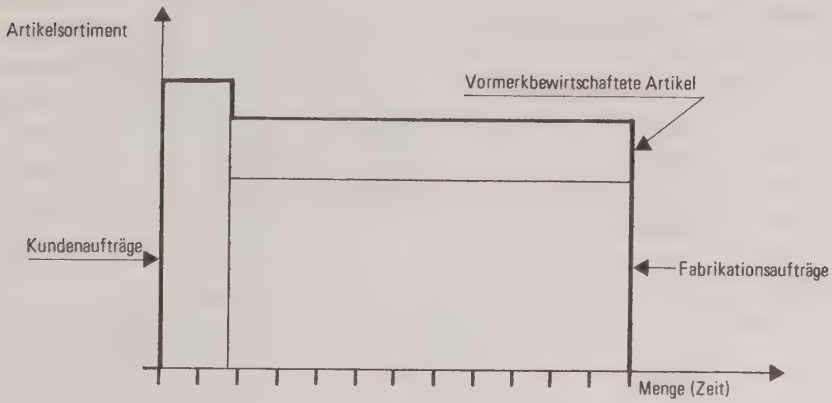
Dieser Spezifikationsvorgang kann schrittweise verfeinert werden. Schliesslich benötigt man von ca. 450 möglichen Verwendungsmerkmalen für die Spezifikation einer bestimmten Maschine ca. 130. Mit diesen 130 Merkmalen werden aus ca. 2500 möglichen Funktionsvarianten die zutreffenden ausgewählt und mit Hilfe von "Stückverzeichnissen" ca. 4000 Einzelteile bestimmt. Die Wahlfreiheit des Kunden besteht hauptsächlich in der Auswahl von im Voraus festgelegten Verwendungsmerkmalen. Konstruktion, AVOR, Versuche spielen bei der Abwicklung eines Kundenauftrages keine oder nur eine untergeordnete Rolle. So erfolgt für 90 % aller Aufträge die Erfassung der Spezifikation für die vom Kunden gewünschte Maschine. Für die restlichen 10 % müssen die Verwendungsmerkmale und Stückverzeichnisse individuell angepasst werden.

Der Weg von einem Kundenwunsch zum Teilbedarf kann wie folgt dargestellt werden:



1.2 Programmfertigung mit Bestellfertigungsanteil

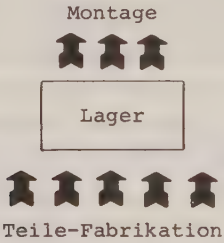
Die Webmaschinen werden in Serien von ca. 200 Stück hergestellt. Eine Serie beinhaltet Webmaschinen der gleichen Webbreite. Es werden Grundtypen unterschieden mit Breiten von 85", 110", 130" 153" und 213". Ein Produktionsprogramm, dem eine Bedarfsprognose zugrunde liegt, bestimmt die Reihenfolge der einzelnen Serien und die Seriengrösse. Indem sich ein Grundtyp durch etwa 80 - 90 Verwendungsmerkmale beschreiben lässt, können mit Hilfe des Produktionsprogramms ca. 70 % der benötigten Teile definiert werden. Die aus dem Produktionsprogramm sich ergebenden Teilefertigungs-Aufträge werden "Fabrikationsaufträge" genannt. Teile, die nicht eindeutig einem bestimmten Merkmal zugeordnet werden können, oder die einen sehr grossen oder kurzfristig anfallenden Bedarf haben (ca. 20 %), werden an Lager gelegt. Der Verbrauch wird mit Hilfe einer sog. Vormerkbewirtschaftung prognostiziert. Die restlichen 10 % werden relativ spät, ca. 14 bis 17 Wochen vor der Endmontage, durch den Kunden spezifiziert. Es sind entweder teure oder selten gebrauchte Teile. Viele davon werden von Unterlieferanten beschafft und von diesen unter Umständen an Lager gehalten.



Der Kundenauftrag löst den Fabrikationsauftrag und die Vormerkprognose ab. Die Montage erfolgt ausschliesslich aufgrund von Kundenaufträgen.

1.3 Werkstattfertigung von Teilen und Bandmontage

Die Fertigung der Webmaschinen erfolgt zweistufig als Fabrikation und Montage.



Ausser für den Ersatzteildienst werden prinzipiell keine zusammengebauten Teile an Lager gelegt, vor allem wegen der grossen Bedeutung der laufenden Konstruktionsänderungen. Zwischen der Vormontage von Baugruppen und der Endmontage der Maschine sind keine Zwischenlager vorgesehen. Die Baugruppen werden kontinuierlich an die Endmontage ausgeliefert, d.h. die vormontierten Baugruppen müssen zum Montagebeginntermin an einem bestimmten Montageplatz liegen. Das Endmontage-Band ist als Beförderungsmittel der zu montierenden Maschinen aufzufassen, die einzelnen Vorrichtungen an den Montageplätzen sind nur zum Teil verschiebbar.

2 GROBTERMINPLANUNG

Die Herstellung von Standardgütern nach einem Produktionsprogramm unter teilweiser Verwendung von Zweckaufstellung der Fertigungsmittel macht die Grobterminplanung relativ problemlos. Der Durchlauf von Serien durch die Endmontage wird zur Ausgangslage für die Terminplanung. Deshalb steht für die Grobplanung die Festlegung eines Ablieferungs- oder Nulltermins unter Berücksichtigung der Belastung einer einzigen Planstelle im Vordergrund. Resultat dieser Planung ist das Fabrikationsprogramm und der Ablieferplan.

2.1 Fabrikationsprogramm

Das Fabrikationsprogramm legt fest, in welcher Reihenfolge und mit welcher Stückzahl einzelne Grundtypen oder Merkmalskombinationen hergestellt werden. Planelement eines Fabrikationsprogramms ist eine Serie mit einer bestimmten Serienummer. Die einzelnen Serien werden bereits 2 - 2 ¼ Jahre vor dem Auslieferungstermin (= Nulltermin) in das Programm aufgenommen. Der Grund dafür liegt in den langen Durchlaufzeiten für die komplizierten Artikelhierarchien (Funktionsgruppen, Funktionsuntergruppen, Funktionsvarianten, Einzelteile). Der Bedarf wird über mehrere Auflösungsstufen ermittelt, d.h. der Bedarf für die untergeordneten Artikel wird aus dem Bedarf an übergeordneten Artikeln abgeleitet. Damit nun die Auflösung des Bedarfs auch beim in der Hierarchie zuunterst stehenden Artikel erfolgen kann, muss der Bedarf des obersten Artikels mindestens über die Summe sämtlicher Durchlaufzeiten bekannt sein.

Die längsten Durchlaufzeiten können über 2 Jahre betragen. Ein weiterer Grund für den langen Planungszeitraum liegt bei der Notwendigkeit, Lieferantenverträge frühzeitig abzuschliessen und Massnahmen der Kapazitäts- und Belastungsplanung rechtzeitig einzuleiten. Bei der Erstellung des Fabrikationsprogramms wird im Sinne einer Engpassplanung auf die Kapazität des Montagebandes geachtet. Nun führen aber die einzelnen Serien zu einer unterschiedlichen Belastung der Montageplätze, weshalb die Reihenfolge der Merkmalskombinationen im Fabrikationsprogramm so ist, dass die Belastungen nicht allzu gross schwanken. Für die Lösung dieses Problems spielt die Erfahrung mit bestimmten Merkmalskombinationen eine Rolle. Gegen Ungleichgewichte sieht man Kapazitätsreserven sowie Ueberzeit, Verschiebungen von Arbeitskräften, Verlagerungen von Aufträgen innerhalb des Konzerns und Auswärtsvergabe usw. vor. 1 ½ Jahre vor dem Nulltermin werden die Serien definitiv zur Fertigung freigegeben. Bis ca. 1 Jahr vor Null werden Mutationen der Seriegrösse und Seriereihenfolge noch zugestanden.

2.2 Ablieferplan

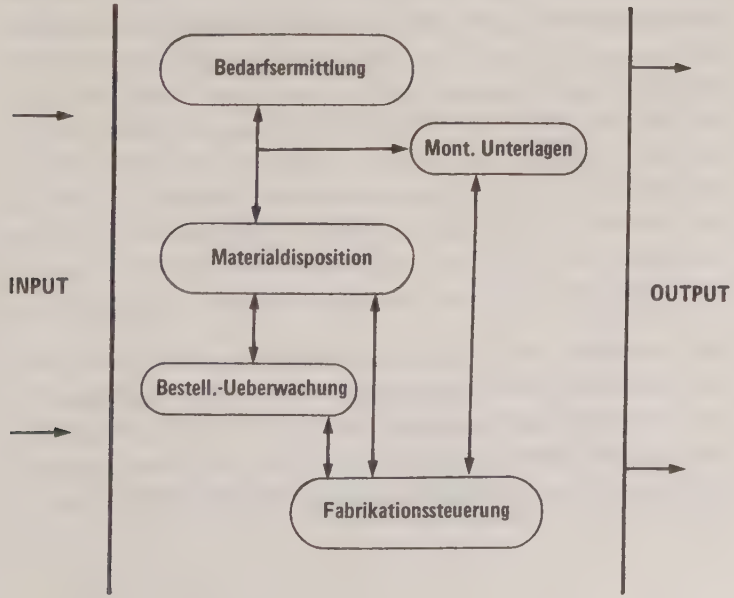
Der Ablieferplan bezieht sich auf fertig montierte Maschinen und kann deshalb als Arbeitsprogramm für die Montage aufgefasst werden. Die einzelnen Serien werden auf Wochenlose aufgeteilt. Jedem Wochenlos werden 5-stellige Maschinennummern zugeordnet. Zum Beispiel werden 1976 in der 13. Woche (7613) 129 Webmaschinen montiert mit den Maschinennummern 52026-52154. Der Ablieferplan ist ein wichtiges Arbeitsinstrument für den Verkauf. Bestellungen von Kunden werden als Optionen auf den Ablieferplan betrachtet. Somit lässt sich der Liefertermin für eine Maschine mit einer bestimmten Merkmalskombination mit Hilfe des Ablieferplans unter Berücksichtigung bereits vergebener Serien festlegen.

3 FEINTERMINIERUNG UND TERMINSTEUERUNG

Das Produktionsplanungs- und Steuerungs-System (PPS) für Sulzer-Webmaschinen besteht aus den Subsystemen Bedarfsermittlung, Bestellungsüberwachung und Montagesteuerung. Jedes übt gewisse Terminierungsfunktionen aus; ein Subsystem "Terminplanung und -steuerung" gibt es nicht. Zuerst wollen wir deshalb auf die Produktionsplanung und -steuerung eingehen, um dann die Terminierung der Aufträge innerhalb dieses PPS zu betrachten.

3.1 Das Produktionsplanungs- und Steuerungs-System (PPS)

Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Teilsystemen des PPS lässt sich wie folgt darstellen:



Die Bedarfsermittlung legt aufgrund der Spezifikation der Kunden- und Fabrikationsaufträge die Bedarfsmengen und -zeitpunkte für sämtliche benötigten Artikel fest. Für diese Aufgabe werden die erwähnten Freigabe- und Stückverzeichnisse gebraucht. Der Teilebedarf aus der Bedarfsermittlung wird an die Subsysteme Montagesteuerung und Materialdisposition weitergeleitet.

Die Montagesteuerung verarbeitet den Bruttobedarf und Daten von Montageplänen, die mit Operationsplänen vergleichbar sind. Das Problem besteht darin, Einzelteile aus dem Teilelager mengen- und termingerecht an die Vor- und Bandmontage auszuliefern. Montagelisten sagen aus, welche Montagevarianten zu welchem Montagebeginn mit welchen Artikeln montiert werden müssen. Das Montageprogramm ist mit dem Arbeitsprogramm der Werkstätten zu vergleichen. Es beinhaltet pro Arbeitswoche und Planstelle alle Montagevarianten und deren Montagebeginn.

Die Materialdisposition soll für jeden Artikel eine optimale Bedarfsdeckung erreichen. Es wird versucht, die Bedarfsmengen und -zeitpunkte aus den einzelnen Aufträgen so zusammenzufassen, dass eine möglichst wirtschaftliche Fertigung oder Beschaffung erfolgen kann. Eine weitere Aufgabe besteht in der Freigabe von Lagerergänzungsaufträgen für vormerkbewirtschaftete Artikel. Der terminierte Teilebedarf wird für eigenfabrizierte Artikel in Form von Fertigungsaufträgen zum Teilsystem Fabrikationssteuerung weitergeleitet; für Artikel, die von Auswärtslieferanten zu beschaffen sind, zum Teilsystem Bestellungsüberwachung.

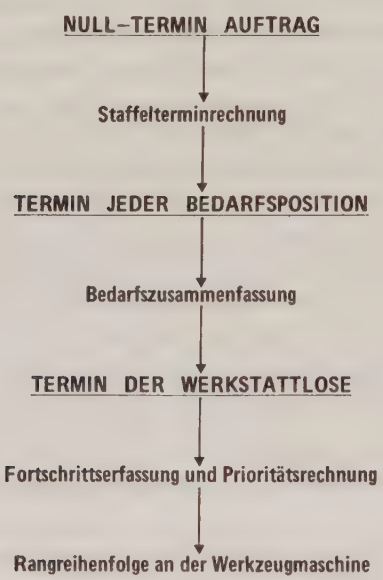
Das Subsystem Fabrikationssteuerung plant den Durchlauf der einzelnen Fertigungsaufträge durch die Werkstätten unter Berücksichtigung der aktuellen Belastungssituationen und des Arbeitsfortschritts. Kern der Steuerung ist die Terminierung einzelner Operationen mit Hilfe von

Operationsplänen und Planungsgruppendaten, die Angaben über die Fertigungsmittel resp. Planstellen enthalten. Zur Bestimmung der Normaldurchlaufzeit wird die Vorgabezeit aus den Operationsplänen und die Liege- und Transportzeit aus den Planungsgruppendaten verwendet. Für die Ermittlung einer Auftragspriorität wird die Normaldurchlaufzeit mit der noch zur Verfügung stehenden Zeit verglichen. Das Resultat der Durchlaufterminierung kommt in den Arbeitspapieren zum Ausdruck. Die wichtigsten sind das Arbeitsprogramm und die Rückmeldekarten für die Erfassung des Arbeitsfortschritts. Aufgrund der Durchlaufterminierung wird eine Belastungsübersicht für die Planstellen über 60 Wochen erstellt, deren Gültigkeit aber durch die sehr vielen Operationen mit kurzen Durchlaufzeiten relativiert wird. Eine Planstelle kann nur dann als "echt überlastet" angesehen werden, wenn sie sehr viele Aufträge mit hoher Priorität bearbeiten muss. Massnahmen des Belastungsausgleichs werden deshalb meistens erst in der Stufe der Arbeitsverteilung vorgenommen.

Das Subsystem Bestellungsüberwachung schliesslich befasst sich mit den Terminen der Einkäufe.

3.2 Die Auftragsabwicklung innerhalb des PPS

Der Auftrags-Terminierung liegt das folgende Modell zugrunde:



Ein Auftrag wird definiert durch einen bestimmten Bereich von Maschinennummern im Ablieferungsplan. Sein Null-Termin ergibt sich aus dem Abliefertermin des Wochenloses, in dem die Maschine mit der höchsten Nummer enthalten ist. Durch die Spezifikation von Merkmalen dieser Maschinen können über Freigabe- und Stückverzeichnisse die Brutto-Bedarfsmengen für einzelne Teile, mit Hilfe der in den Montageverzeichnissen enthaltenen Montagefristen durch Subtraktion vom Nulltermin ihre Bedarfszeitpunkte ermittelt werden. (Es ist zu beachten, dass wir bloss die Fertigungsstufen Teilefabrikation und Montage haben.) Indem man bei der Bedarfsermittlung Funktionsgruppen, Funktionsuntergruppen und Funktionsvarianten unterscheidet, können

Aufträge sukzessive mit Hilfe von Spezifikationslisten konkretisiert werden bis sie ihren Charakter als Prognoseaufträge verlieren und definitiv durch einen Kundenauftrag abgelöst werden. Besondere Kundenwünsche werden erst zu diesem Zeitpunkt spezifiziert. Die Montagesteuerung stützt sich grundsätzlich auf den terminierten Bruttobedarf aus der Bedarfsermittlung. Eine Ausnahme machen lediglich Vorratsteile, vor allem Kleinteile, die in Packungen von der Grösse eines Wochenbedarfs an die Montageplätze ausgeliefert werden und deren Bezüge ab Lager mit Hilfe einer Saldorechnung gesteuert werden. Für Artikel mit auftragsweiser Beschaffung und Fabrikation entspricht der Bruttobedarf dem Nettobedarf, weil kein Lagerbestand vorgesehen ist. Die Beschaffung oder Fabrikation wird terminlich so eingeplant, dass der Artikel möglichst direkt in die Montage eingeht. Für das Ermitteln der Bestellzeitpunkte werden Wiederbeschaffungsfristen von den einzelnen Bedarfsterminen subtrahiert, und der Beginn der Teilefertigung wird unter Berücksichtigung einer Normaldurchlaufzeit festgelegt. Der Beginnzeitpunkt einzelner Operationen schliesslich ergibt sich durch Subtraktion des Zeitbedarfs für die Vorgänger-Operationen vom Zeitpunkt des Fertigungsbeginns. Bei Artikeln mit Vorratsbewirtschaftung werden für Beschaffung oder Fabrikation Lose gebildet. Diese werden so terminiert, dass sie den Lagervorrat rechtzeitig ergänzen, d.h. es dürfen weder Fehlmengen noch übermässig hohe Vorräte entstehen.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Beer S., Kybernetik und Management, Hamburg 1967

Bieri P., Integrierte Auftragsabwicklung und Fabrikationssteuerung mit EDV. Beispiel eines umfassenden Terminierungssystems. In: Industrielle Organisation 43 (1974) Nr. 10, S. 449 - 454

Büchel a., Terminplanung und Terminüberwachung, in: Produktionsplanung und -steuerung mit EDV, Band 1, Zürich 1971

Buffa E.S., Taubert W.H., Production-Inventory Systems: Planning and Control, Homewood 1972, Rev. Edition

Churchman C.W., Ackoff R.L., Arnoff E.L., Operations Research. Eine Einführung in die Unternehmungsforschung, 4. Auflage, Wien 1968

Dolezalek C.M., Ropohl G., Ansätze zu einer produktionswissenschaftlichen Systematik der industriellen Fertigung, in: VDI Zeitschrift, Band 109 - 1967, S. 636 - 640, S. 715 - 721

Fehr E., Produktionsplanung und -steuerung bei Brown-Boveri, in: Industrielle Organisation 37 (1968) Nr. 6, S. 359 - 366

Gutenberg E., Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Erster Band, Die Produktion, 18. Auflage, Berlin etc. 1971

Haberfellner R., Rutz K., Integrierte Produktionssteuerung, in: Produktionsplanung und -steuerung mit EDV, Band 1, Zürich 1971

Hackstein R., Uphus P.H., Möglichkeiten der Koordination im System der Unternehmungsplanung, in: Industrielle Organisation 42 (1973) Nr. 4

Johnson A.L., Montgomery D.C., Operations Research, in: Production Planning, Scheduling, and Inventory Control, New York, etc. 1974

Koxholt R., Die Simulation - ein Hilfsmittel der Unternehmungsforschung, München, etc. 1967

Meingast K., Erstellung von Einheitsfristenplänen für die Teilefertigung und Montage, unter besonderer Berücksichtigung der Uebergangszeiten, Diss. Wien 1973

Moore F.G., Jablonski R., Production Control, 3rd edition, New York, etc. 1969

Müller - Merbach H., Operations Research, Methoden und Modelle der Optimalplanung, 3. Auflage, München 1973

Opitz H., Brankamp K., Arlt J., Untersuchungen über die Einsatzmöglichkeiten elektronischer Datenverarbeitungsanlagen in der Produktionsterminplanung, Köln 1970

REFA-Buch, Band 2, Zeitvorgabe, München 1958

Soom E., Integrierte Produktionsplanung und -steuerung, Blaue TR-Reihe, Heft 112, Bern 1974, S. 132

Sulzer Gebr. AG, Die Produktionssteuerung und Kontrolle "PSK" erläutert am Beispiel der Webmaschinen-Abteilung der Firma Gebr. Sulzer Aktiengesellschaft, Winterthur 1971

Terminologie, Produktionsplanung und -steuerung, ausgearbeitet vom Betriebswirtschaftlichen Institut der ETH, Zürich 1970

VDI Taschenbücher, T23, Elektronische Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung und -steuerung II, Fertigungsterminplanung und -steuerung, Düsseldorf 1969

Völzgen H., Stochastische Netzwerkverfahren und Anwendungen, Berlin, etc. 1971

Weinberg F., Ueber die Anwendung mathematischer Methoden mit spezieller Würdigung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der Termin-Grobplanung für differenzierte Fabrikationsprogramme bei vorwiegender Serienfertigung, Diss., Zürich 1954

Weinberg F., Zehnder C.A., Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Economics, Vol. 13, Heuristische Planungsmethoden, Berlin, etc. 1969